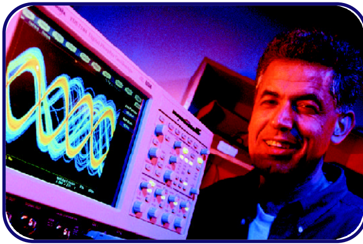
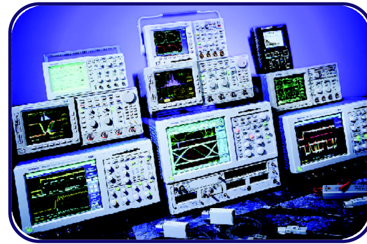
示波器 XYZ


Tektronix®
Enabling Innovation

目录

引言

自然界运行着各种形式的正弦波，比如海浪、地震、声波、爆破、空气中传播的声音，或者身体运转的自然节律。物理世界里，能量、振动粒子和不可见的力无处不在。即使是光（波粒二象物质）也有自己的基频，并因为基频的不同呈现出不同的颜色。

通过传感器，这些力可以转变为电信号，以便通过示波器能够进行观察和研究。有了示波器，科学家、工程师、技术人员、教育工作者和他人能够 " 观察 " 随时间变化的事件。

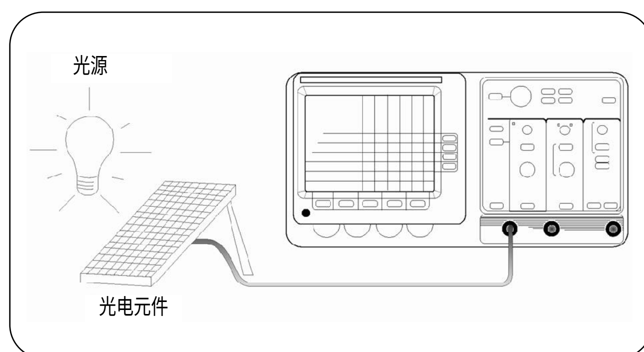
示波器是任何设计、制造或是维修电子设备的必备之物。当今世界瞬时万变，工程师们需要最好的工具，快速而精确地解决测量疑难。在工程师看来，面对当今各种测量挑战，示波器自然是满足要求的关键工具。

示波器的用途不仅仅局限于电子领域。示波器利用信号变换器，适用于各种各样的物理现象。信号变换器能够响应各种物理激励源，使之转变为电信号，包括声音、机械应力、压力、光、热。麦克风属于信号变换器，它实现把声音转变为电信号。由示波器收集科学数据的例子如图1所示。

从物理学家到电视维修人员，各种人士都使用示波器。汽车工程师使用示波器来测量发动机的振动。医师使用示波器测量脑电波。描述示波器的用途是没有止境的。

本读本提供的概念将引导读者逐步理解示波器的基础知识和操作方式。

本读本的后面的术语表对各术语进行了定义。针对示波器的原理和控制，本读本列出了词汇表以及练习中设计的多项选择题，对课堂学习很有帮助。并不要求有数学和电子学的基础知识。



► *图1.示波器收集科学数据的例子*

阅读完本读本，您可以掌握如下内容：

- ► 描述示波器如何工作
- ► 区别模拟、数字存储、数字荧光和数字采样示波器的异同
- ► 描述电波的类型
- ► 理解示波器的基本控制
- ► 进行简单的测量

在实际工作中使用示波器时，借助随同示波器一同提供的手册，能帮助您了解更多特定的信息。一些示波器制造商也提供各种应用备忘录，其中的注意事项可以帮助您优化示波器，以满足特定测量的需求。

如果您需要其他的帮助，或者您对本读本有任何的建议和问题，请与泰克的代理商联系，或者访问 **www.tektronix.com**。

信号完整性

信号完整性的意义

任何好的示波器系统的关键点在于精确地重建波形的能力,称为信号完整性。摄像机捕获信号图象,以便我们随后能够进行观察和解释。在这一点上,示波器很是类似。信号完整性有两个关键点。

- ► 您摄下图片的时间,它是否与实际发生的情况一致?
- ► 图片是清晰的还是模糊的?
- ► 每一秒您能摄下多少张精确的图片?

综合起来,不同的系统和不同性能的示波器,有不同的实现最高信号完整性的能力。探头也对测量系统的信号完整性有影响。

信号完整性影响许多电子设计规律。但在数年以前,数字设计者并不以为重。他们着重于逻辑的设计,便能使逻辑电路顺利工作。在进行高速设计时,噪声和不确定信号偶有发生,RF(射频)设计者需要对此进行考虑。而数字系统进行着缓慢的转换,信号如所预料的一样稳定。

处理器的时钟速率上升了数个数量级。3D 图象处理、视频和服务器 I/O 等计算机应用需要巨大的带宽。如今的许多电信设备也是基于数字的,同样也需要大量的带宽资源。数字处理的高清晰度电视同样如此。目前,微处理器设备处理的数据速率高达2、3 GS/s,甚至5 GS/s(吉采样值每秒)。同时,一些内存设备采用 400-MHz 的时钟以及 200-ps 上升时间的数据信号。

重要的是,随着速度的提高,原用于车辆、录像机、机械控制器的普通 IC 设备应用得越来越少。与那些 800-MHz 的处理器类似,工作于 20-MHz 时钟速率的处理器也许同样有上升时间的问题。设计者不得不考虑交叉情况下对性能的影响。其结果,几乎所有的设计中都包含高速设计。

如果不预防地进行一些测量,高速带来的问题可能会影响其他常规的数字设计。如果电路时断时续发生故障,或者如果电路在电压和温度的极限条件下发生差错,可能就是里面隐藏着信号完整性的问题。最终,影响的是投放市场的时间、产品的可靠性、电磁兼容性(EMI compliance),等等。

为什么要考虑信号完整性问题?

让我们来看一看今天数字设计中引起信号衰减的特殊原因。比起过去,为什么这些问题变得更为普遍?

答案是速度。在"过去缓慢的年月",维护可接受的数字信号完整性就意味着对细节的关注,比如时钟的分布、信号通道的设计、白噪声、负载的影响、传输线的影响、总线终端、解耦和功率的分配。现在,上述规则仍旧适用,但是……

总线的周期时间比20年以前快过了千倍!原来需要数毫秒才能完成的事务处理现在仅需要数纳秒。为实现速度的提高,边缘的速度也经过加速:边缘升降速度比 20 年前快了 100 倍以上。

进步是相当令人瞩目的。但是,某些物理现实阻碍着电路板技术跟上速度提高的步调。数十年以来,芯片内部总线的传输时间基本上没有什么变化。物理尺寸自然越来越小,但是电路板上总还得安插实际的IC 元件、连接器、无源部件,当然还需安排总线本身。实际的布局增加了间距,而这些距离意味着时间的消耗,这与速度形成了矛盾。

需要注意的是,数字信号的边缘速度(上升时间)对频率的影响远大于重复速率的影响。正因为如此,一些设计人员有意识"减缓"相关的上升时间,使 IC 器件正常工作。

过去为预测电路中的信号状态，常常单独考虑各个基本的电路模块。但是当边缘速度比信号通道延迟还要快四到六倍时，简单的划分模块就不再可行。

不考虑周期速率，当驱动低于四到六纳秒边缘速率的信号时，六英寸长的电路板已经变成波导线。其结果，产生新的信号通道。这些无形中形成的连接并不属于设计的初衷，但是不可预料地影响着正常信号。

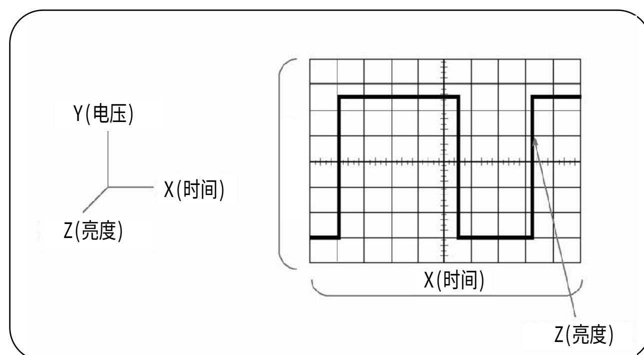
另外，高速的边缘速度通常需要有更高的电流保障。更高的电流常引起地线的反射。特别是在许多信号同时转换的瞬间，宽总线容易出现此情况。而且，大电流引起电磁辐射量的增加，导致信号串扰。

考虑数字信号的模拟特性

所有这一切的共同特征是什么？他们都是典型的模拟现象。为解决信号完整性问题，数字设计人员必须步入模拟领域。而为踏出这一步，需要有工具来帮助他们指示数字和模拟信号之间的相互关系。

模拟信号完整性问题常常导致数字的差错。利用示波器跟踪数字故障的原因是很有必要的。示波器能够显示波形的细节、边缘和噪声；示波器能探测和显示瞬态情况；也能帮助您精确测量时间的关系，比如建立和保持时间。

理解示波器系统的每一部分，理解各部分如何运作，这样会有助于您有效地应用示波器，使您更有把握面对测量方面的挑战。



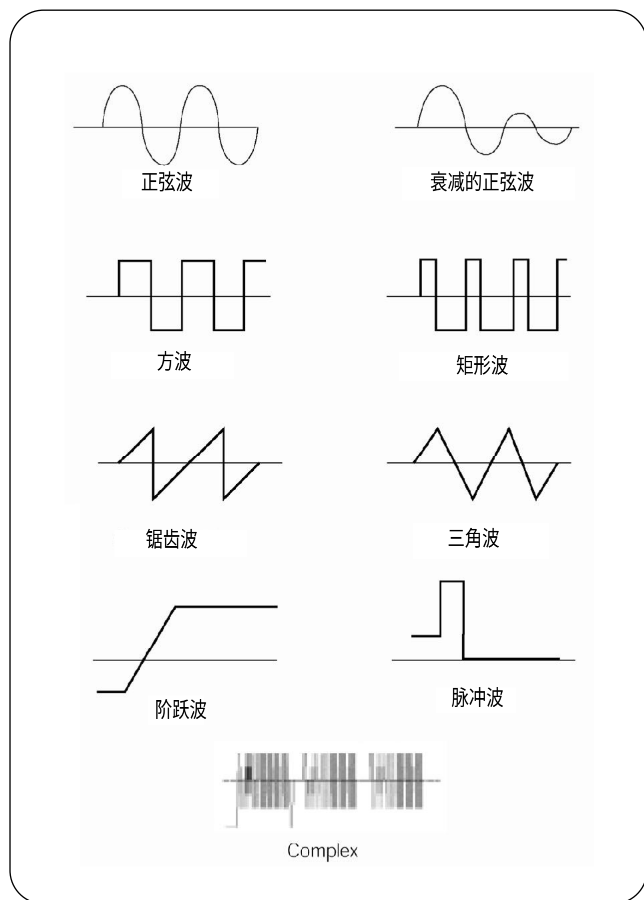
► *图2. 显示波形的X、Y和Z分量*

示波器

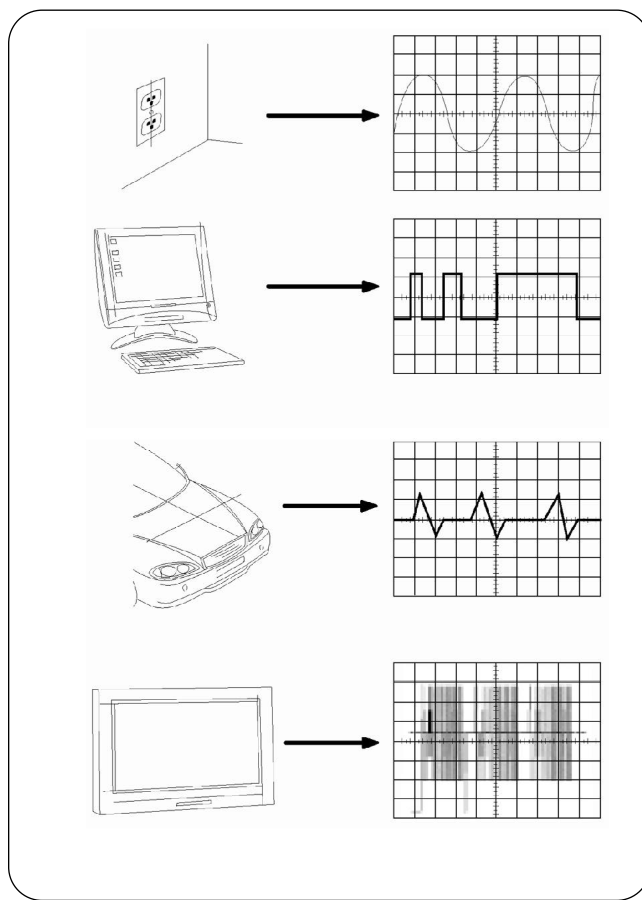
什么是示波器，它是如何工作的？本节将解答这些基本问题。

示波器本质上是一种图形显示设备，它描绘电信号的图形曲线。在大多数应用中，呈现的图形能够表明信号随时间的变化过程：垂直（Y）轴表示电压，水平（X）轴表示时间。有时称亮度为 Z 轴。（参看图 2。）这一简单的图形能够说明信号的许多特性，例如：

- 信号的时间和电压值
- 振荡信号的频率
- 信号所代表电路的 “ 变化部分 ”
- 信号的特定部分相对于其他部分的发生频率
- 是否存在故障部件使信号产生失真
- 信号的直流值 (DC) 和交流值 (AC)
- 信号的噪声值和噪声是否随时间变化



► ***图3.*** *普通波形*

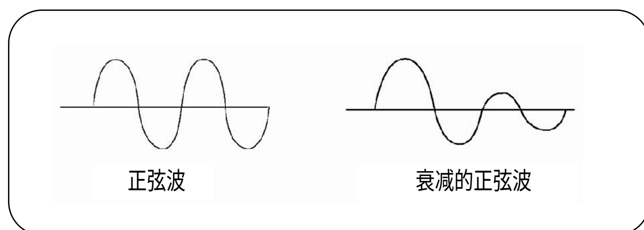


► ***图4.*** *普通波形的激励源*

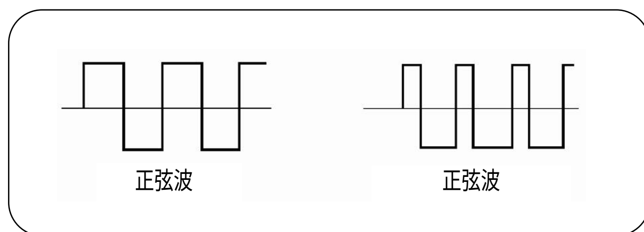
理解波形和波形的测量

通常把随时间重复的模式称为波，声波、脑电波、海浪、电压波形都具有重复的特点。示波器测量的是电压波形。波的周期是波动重复的部分。波形是波的图形表现形式。电压波形描述水平方向的时间和垂直方向的电压。

波形能够揭示信号的许多特性。当看到波形的高度变化，则表示电压值在变化。当看到的是平坦的水平线，则表示在一段时间内，信号没有变化。平直斜线表示线性变化，电压以恒定的斜率上升或下降。波形中的尖角指示的是突然的变更。图3提供出普通波形图，而图4展示出这些普通波形的来源。



► ***图5.*** *正弦波和衰减的正弦波*



► ***图6.*** *方波和矩形波*

波的类型

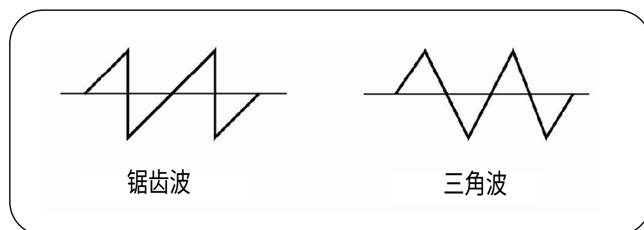
大多数波都属于如下类型：

- ► 正弦波
- ► 方波和矩形波
- ► 三角波和锯齿波
- ► 阶跃波和脉冲波
- ► 周期和非周期信号
- ► 同步和异步信号
- ► 复杂波

正弦波

有几个原因说明正弦波是基本波形。它具有和谐的数学特性，这与您高中在三角学课程中学习到的正弦函数曲线的形状一样。房间墙角的电源出口输出的电压值也如同正弦波那样变化。信号发生器振荡电路产生的测试信号通常就是正弦波。大多数AC电源产生的是正弦波。（AC表示的是交流，实际上电压值也在改变。DC表示的是直流，同时意味着稳定的电流和电压，电池产生的就是DC。）

衰减的正弦波是振荡电路产生的特殊实例，它随时间而衰减。图5是正弦波和衰减的正弦波的示例。



► ***图7.*** *锯齿波和三角波*

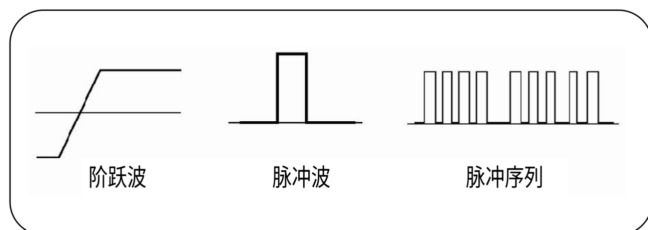
方波和矩形波

方波是另一种常见的波形。从本质上看，方波是以相同的时间间隔，不停开关的电压（或者不断为高低值）。它是测试放大器的标准波形，好的放大器在增加方波幅值的同时有最小的失真。电视、广播和计算机电路中经常使用方波作为定时信号。

矩形波与方波类似，不同之处在于高低电压值的间隔时间并不等长。在分析数字电路时，矩形波非常有用。图6是方波和矩形波的示例。

锯齿波和三角波

锯齿波和三角波来源于线性控制电压的电路。例如，模拟示波器的水平扫描，或者电视的光栅扫描。这类波形以恒定速率对电压电平值进行转换。这些渐增过程称为斜坡信号。图7是锯齿波和三角波的示例。



► *图8. 阶跃波、脉冲波和脉冲序列*

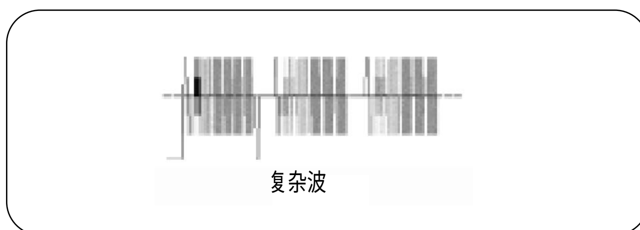
阶跃波和脉冲波

象阶跃波和脉冲波之类的信号很少发生，并且是非周期信号。这类信号被称为单脉冲或瞬时信号。阶跃波指示的是电压的突然变化，打开电源开关时电压的情况即是如此。

脉冲指示的是电压的突然的两次变化，打开电源开关马上又关闭时，产生的电压波形就是脉冲。在计算机电路进行传输时，一个脉冲可以表示信息的一位。脉冲也可能是电路中的低频干扰，或某种缺陷。一系列传输脉冲的集合成为脉冲序列。计算机的数字部件通过脉冲进行相互通信。在X射线和通信设备中，脉冲应用广泛。图8是阶跃波、脉冲波和脉冲序列的示例。

周期信号和非周期信号

不断重复的信号称为周期信号，而不断变化的信号称为非周期信号。静止图象与周期信号相似，而移动图象则与非周期信号等同。



► *图9.复杂波的例子：一段NTSC 复合视频信号*

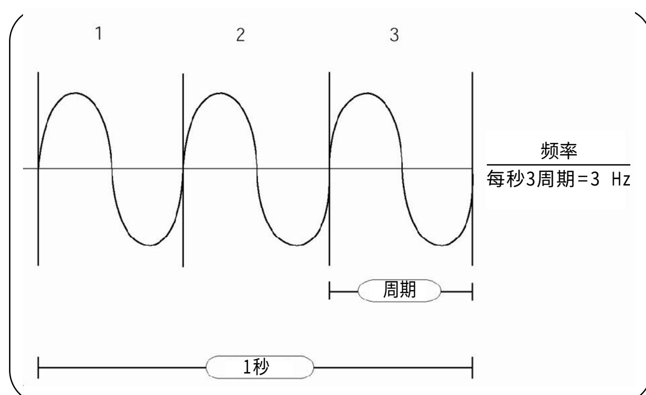
同步信号和异步信号

如果二信号之间具备定时关系，则称它们是同步的。举例来说，计算机中的时钟、数据和地址信号就是同步信号。

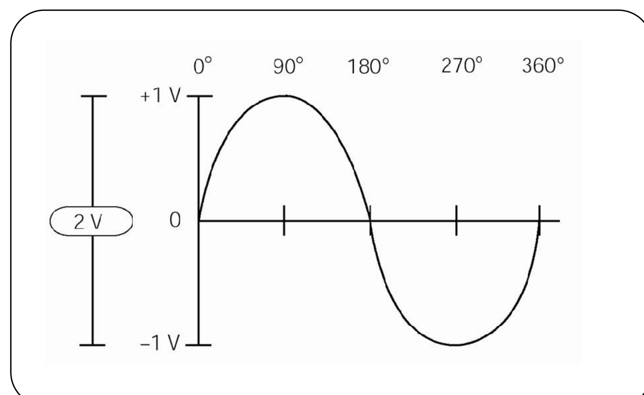
异步用来说明信号之间没有定时关系。比如说，接触计算机键盘的行为和计算机内部的时钟之间没有时间的关联，两者可被认为是异步的。

复杂波

一些波形组合正弦波、方波、阶跃波和脉冲的特性，形成新的波形，对于许多示波器来说是一种考验。信号的信息可以置入幅值、相位中，可能还置入频率变量当中。例如，图9表示的是平常的复合视频信号，但是在低频包络里也置入了许多高频波形周期。对于这个例子，理解各处的相对电平和定时关系是非常重要的。为了观察这样的信号，需要用示波器来捕获低频包络，并以一定的亮度级表示复杂高频波形。如此一来，就可以观察到整个混合图象，方便直观地进行解释说明。对于如图9所示的视频信号，模拟和数字的荧光示波器非常适合观察这样的复杂波形。显示器提供必要的发生频率的信息，或者亮度等级，这些对理解波形的实际特性颇为重要。



► *图10. 正弦波的频率和周期*



► *图11. 正弦波的幅度和读数*

波形测量

使用示波器时有许多测量参数。本小节将对一些常见的测量参数进行说明。

频率和周期

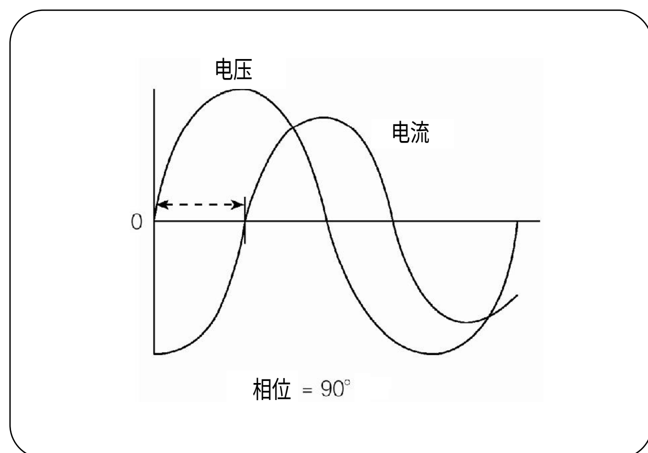
不断重复的信号具有频率特性。频率的单位是赫兹（Hz），表示一秒时间内信号重复的次数。成为周期每秒。重复信号也具有周期特性，即信号完成一个循环所需要的时间量。周期和频率互为倒数关系，即1/周期等于频率，同理1/频率等于周期。例如，如图10所示，该正弦信号的频率是3Hz，而周期是1/3秒。

电压

电压是电路两点间的电势能或信号强度。有时把地线或零电压作为参考点。如果测量的是波形从最高峰值到最低峰值的电压值，则称为电压的峰值-峰值。

幅度

幅度是指电路两点间电压量。幅度通常指被测信号以地或零电压为参考时的最大电压。图11所示的波形的幅度为1V，而电压的峰值-峰值为2V。



► ***图12.*** *相移*

相位

参照正弦波很容易理解相位。正弦波的电压值是基于圆形运动的。参照图11，一个圆的度数是360°，而正弦波的一个周期也是360°。为描述经过的周期数，可以参照正弦波的相位的角度。

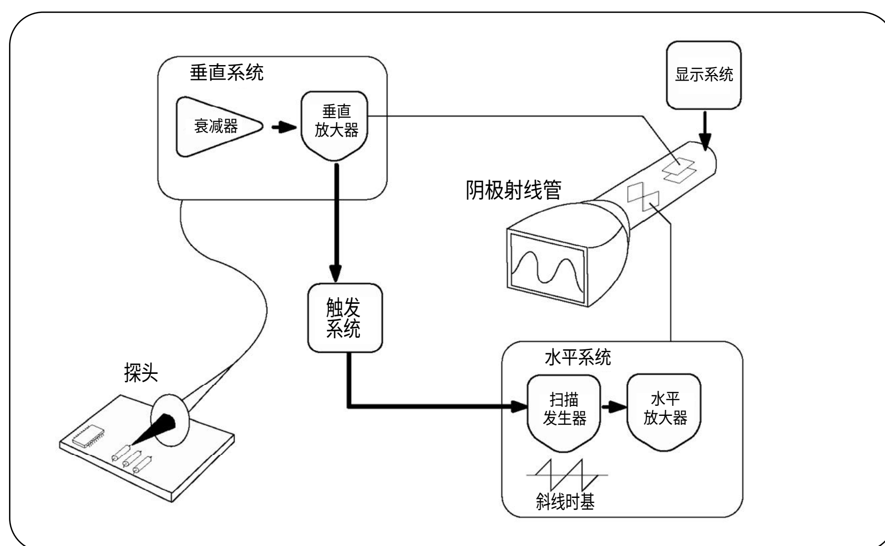
相移用来描述两个不同相似信号在时间上的差值。图12中，标号为"电流"的波形比标号为"电压"的波形超前90°，因为两者到达同一点刚好相差1/4周（360o/4 = 90°）。在电子学中，相移比较普遍。

利用数字示波器对波形进行测量

现代的数字示波器使波形测量变得更为容易。通过前面板按钮，以及基于屏幕的菜单，方便选择全自动的测量参数。包括幅值、周期、上升/下降时间，等等。许多数字仪器也能提供均值和均方值的计算、占空比和其他数学运算。自动化测量通过屏幕读取数值。一般来说，读取的数值可能比直接利用有刻度的工具更为准确。

一些数字荧光示波器用到的全自动波形测量参数有：

- 周期
- 频率
- 宽度＋
- 宽度－
- 上升时间
- 下降时间
- 幅度
- 消光率
- 平均光功率
- 占空比＋
- 占空比－
- 延迟
- 相位
- 突发宽度
- 峰值-峰值
- 均值
- 周期均值
- 周期区
- 高
- 低
- 最小值
- 最大值
- 过冲＋
- 过冲－
- 均方值
- 周期均方值



► *图13. 模拟示波器体系结构*

示波器的类型

电子设备可以划分为两类：模拟设备和数字设备。模拟设备的电压变化连续，而数字设备处理的是代表电压采样的离散二元码。传统的电唱机是模拟设备，而CD播放器是属于数字设备。

同样，示波器也能分为模拟和数字类型。模拟和数字示波器都能够胜任大多数的应用。但是，对于一些特定应用，由于两者具备的不同特性，每种类型都有适合和不适合的地方。作进一步划分，数字示波器可以分为数字存储示波器（DSO）、数字荧光示波器（DPO）和采样示波器。

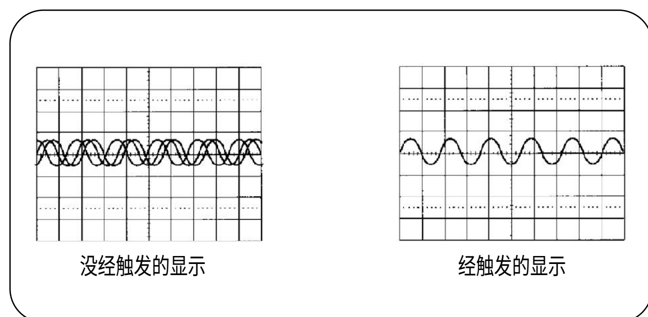
模拟示波器

在本质上，模拟示波器工作方式是直接测量信号电压，并通过从左到右穿过示波器屏幕的电子束在垂直方向描绘电压。示波器屏幕通常是阴极射线管（CRT）。电子束投到荧幕的某处，屏幕后面总会有明亮的荧光物质。当电子束水平扫过显示器时，信号的电压是电子束发生上下偏转，跟踪波形直接反映到屏幕上。在屏幕同一位置电子束投射的频度越大，显示得也越亮。

CRT限制着模拟示波器显示的频率范围。在频率非常低的地方，信号呈现出明亮而缓慢移动的点，而很难分辨出波形。在高频处，起局限作用的是CRT的写速度。当信号频率超过CRT的写速度时，显示出来的过于暗淡，难于观察。模拟示波器的极限频率约为1GHz。

当把示波器探头和电路连接到一起后，电压信号通过探头到达示波器的垂直系统。图13图解出模拟示波器是如何显示被测信号。设置垂直标度（对伏特/格进行控制）后，衰减器能够减小信号的电压，而放大器可以增加信号电压。

随后，信号直接到达CRT的垂直偏转板。电压作用于这些垂直偏转板，引起亮点在屏幕中移动。亮点是由打在CRT内部荧光物质上的电子束产生的。正电压引起点向上运动，而负电压引起点向下运动。



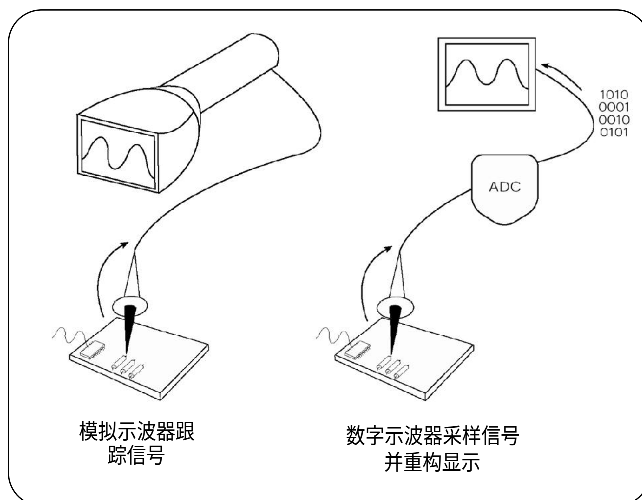
► *图14. 触发器能稳定重复的波形，使信号产生清晰的图象*

信号也经过触发系统，启动或触发水平扫描。水平扫描是水平系统亮点在屏幕中移动的行为。触发水平系统后，亮点以水平时基为基准，依照特定的时间间隔从左到右移动。许多快速移动的亮点融合到一起，形成实心的线条。如果速度足够高，亮点每秒钟扫过屏幕的次数高到500000 次。

水平扫描和垂直偏转共同作用，形成显示在屏幕上的信号图象。触发器能够稳定实现重复的信号，它确保扫描总是从重复信号的同一点开始，目的就是使呈现的图象清晰。参照图 14。

另外，模拟示波器有对聚焦和亮度的控制，可调节出锐利和清晰的显示结果。

为显示" 实时 "条件下或突发条件下快速变化的信号，人们经常推荐使用模拟示波器。模拟示波器的显示部分基于化学荧光物质，它具有亮度级这一特性。在信号出现越多的地方，轨迹就越亮。通过亮度级，仅观察轨迹的亮度就能区别信号的细节。



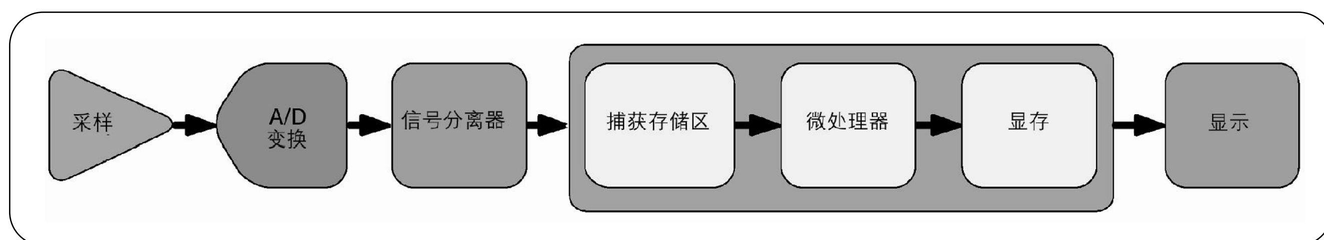
► *图15. 模拟示波器跟踪信号，而数字示波器采样信号并重构图象*

数字示波器

与模拟示波器不同，数字示波器通过模数转换器（ADC）把被测电压转换为数字信息。它捕获的是波形的一系列样值，并对样值进行存储，存储限度是判断累计的样值是否能描绘出波形为止。随后，数字示波器重构波形。（参看图 15。）

数字示波器分为数字存储示波器（DSO）、数字荧光示波器（DPO）和采样示波器。

数字的手段则意味着，在示波器的显示范围内，可以稳定、明亮和清晰地显示任何频率的波形。对重复的信号而言，数字示波器的带宽是指示波器的前端部件的模拟带宽，一般称之为 3dB 点。对于单脉冲和瞬态事件，例如脉冲和阶跃波，带宽局限于示波器采样率之内。为了解更多的细节，请参照性能术语和应用部分的采样率一节。



► ***图16.*** *数字存储示波器顺序处理体系结构*

数字存储示波器

常规的数字示波器是数字存储示波器（DSO）。它的显示部分更多基于光栅屏幕而不是基于荧光。

数字存储示波器（DSO）便于您捕获和显示那些可能只发生一次的事件，通常称为瞬态现象。以数字形式表示波形信息，实际存储的是二进制序列。这样，利用示波器本身或外部计算机，方便进行分析、存档、打印和其他的处理。波形没有必要是连续的；即使信号已经消失，仍能够显示出来。与模拟示波器不同的是，数字存储示波器能够持久地保留信号，可以扩展波形处理方式。然而，DSO没有实时的亮度级；因此，他们不能表示实际信号中不同的亮度等级。

组成DSO的一些子系统与模拟示波器的一些部分相似。但是，DSO包含更多的数据处理子系统，因此它能够收集显示整个波形的数据。从捕获信号到在屏幕上显示波形，DSO采用串行的处理体系结构，如图16所示。随后将对串行处理体系作讲解。

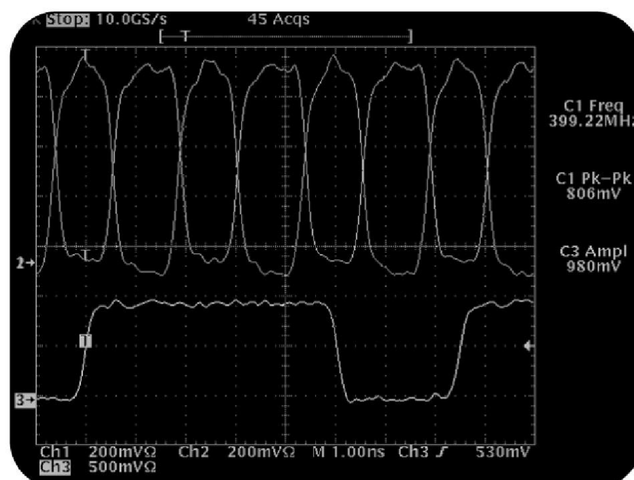
串行处理体系结构

与模拟示波器一样，DSO第一部分（输入）是垂直放大器。在这一阶段，垂直控制系统方便您调整幅度和位置范围。

紧接着，在水平系统的模数转换器（ADC）部分，信号实时在离散点采样，采样位置的信号电压转换为数字值，这些数字值称为采样点。该处理过程称为信号数字化。水平系统的采样时钟决定ADC采样的频度。该速率称为采样速率，表示为样值每秒（S/s）。

来自ADC的采样点存储在捕获存储区内，叫做波形点。几个采样点可以组成一个波形点。波形点共同组成一条波形记录。创建一条波形记录的波形点的数量称为记录长度。触发系统决定记录的起始和终止点。

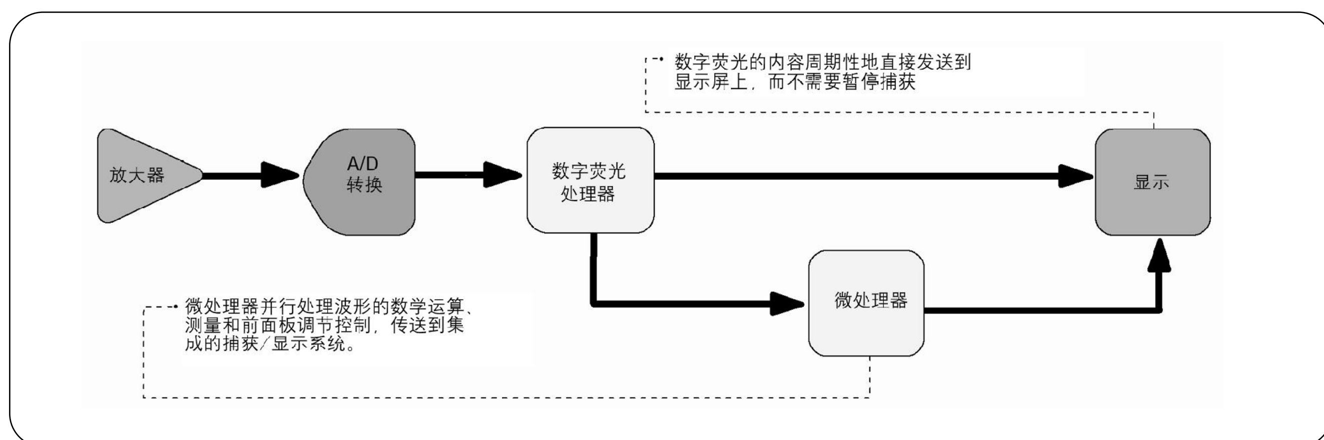
DSO信号通道中包括微处理器，被测信号在显示之前要通过微处理器处理。微处理器处理信号，调整显示运行，管理前面板调节装置，等等。信号通过显存，最后显示到示波器屏幕中。



► *图17. TDS694C 提供多通道同时的高速单次脉冲捕获，增加了对偶发毛刺和瞬态现象的捕获*

在示波器的能力范围之内，采样点会经过补充处理，显示效果得到增强。可以增加预触发，使在触发点之前也能观察到结果。目前大多数数字示波器也提供自动参数测量，使测量过程得到简化。

DSO提供高性能处理单脉冲信号和多通道的能力（参看图17）。DSO是低重复率或者单脉冲、高速、多通道设计应用的完美工具。在数字设计实践中，工程师常常同时检查四路甚至更多的信号，而DSO则成为标准的合作伙伴。



► *图18. 数字荧光示波器的并行处理体系结构*

数字荧光示波器

数字荧光示波器（DPO）为示波器系列增加了一种新的类型。DPO的体系结构使之能提供独特的捕获和显示能力，加速重构信号。

DSO 使用串行处理的体协结构来捕获、显示和分析信号；相对而言，DPO为完成这些功能采纳的是并行的体系结构，如图18所示。DPO采用ASIC硬件构架捕获波形图象，提供高速率的波形采集率，信号的可视化程度很高。它增加了证明数字系统中的瞬态事件的可能性。随后将对该并行处理体系结构进行阐述。

并行处理体系结构

DPO的第一阶段（输入）与模拟示波器相似（垂直放大器），第二阶段与DSO相似（ADC）。但是，在模数转换后，DPO与原来的示波器相比就有显著的不同之处。

对所有的示波器而言，包括模拟、DSO和DPO示波器，都存在着释抑时间。在这段时间内，仪器处理最近捕获的数据，重置系统，等待下一触发事件的发生。在这段时间内，示波器对所有信号都是视而不见的。随着释抑时间的增加，对查看到低频度和低重复事件的可能性就会降低。

请注意，由显示的更新速率简单地推断采集到事件的概率是不可能的。如果只是依靠显示更新速率，就确认示波器能采集到波形的所有相关信息，那么是很容易犯错误的，因为，实际上示波器并没有作到。

数字存储示波器串行处理采集到的波形。由于微处理器限制着波形的采集速率，所以微处理器是串行处理的瓶颈。

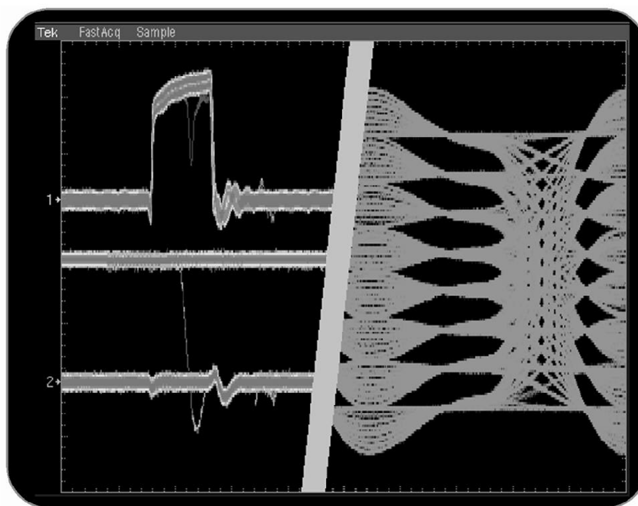
DPO把数字化的波形数据进一步光栅化，存入荧光数据库中。每1/30秒，这大约是人类眼睛能够觉察到的最快速度，存储到数据库中的信号图象直接送到显示系统。波形数据直接光栅化，以及直接把数据库数据拷贝到显存中，两者共同作用，改变了其他体系在数据处理方面的瓶颈。结果是增加了“使用时间”，增强显示更新能力。信号细节、间断事件和信号的动态特性都能实时采集。DPO微处理器与集成的捕获系统一道并行工作，完成显示管理、自动测量和设备调节控制工作，同时，又不影响示波器的捕获速度。

DPO 如实地仿真模拟示波器最好的显示属性，并在三维显示信号：时间、幅度和以时间为参变量的幅度变化，三者都是实时的。

模拟示波器依靠化学荧光物质，与此不同，DPO 使用完全的电子数字荧光，其实质是不断更新的数据库。针对示波器显示屏幕的每一个点，数据库中都有独立的“单元（cell）”。一旦采集到波形（即示波器一触发），波形就映射到数字荧光数据库的单元组内。每一个单元代表着屏幕中的某位置。当波形涉及到该单元，单元内部就加入亮度信息；没有涉及到则不加入。因此，如果波形经常扫过的地方，亮度信息在单元内会逐步累积。

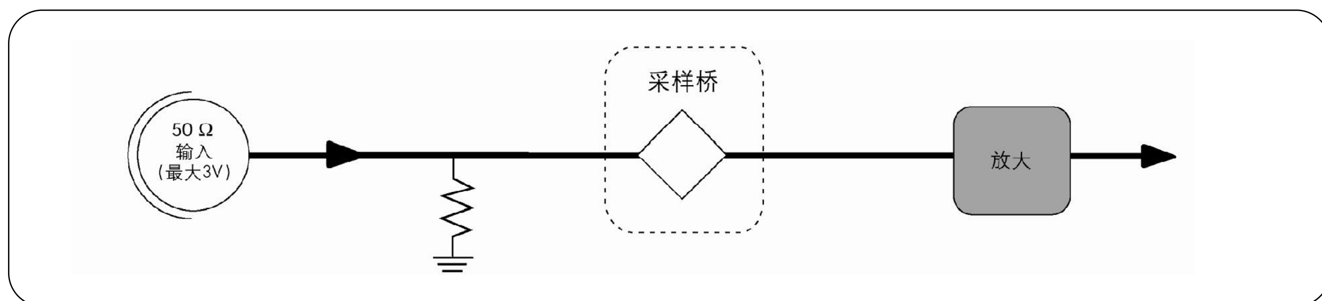
当数字荧光数据库传送到示波器的显示屏幕后，根据各点发生的信号频率的比例，显示屏展示加入亮度形式的波形区域，这与模拟示波器的亮度级特性非常类似。DPO 也可以显示不断变化的发生频率的信息，显示屏对不同的信息呈现不同的颜色，这一点与模拟示波器不同。利用 DPO，可以比较由不同触发器产生的波形之间的异同，例如，比较某波形与第 100 号触发器产生波形的区别。

数字荧光示波器（DPO）突破模拟和数字示波器技术之间的障碍。它同时适合观察高频和低频信号、重复波形，以及实时的信号变化。只有 DPO 实时提供 Z（亮度）轴，常规的 DSO 已经丧失了这一功能。



► ***图 19.*** *一些 DPO 能够在数秒之内捕获成百上千万的波形，有效地扩展了功能，例如捕获中断和难以捕获的事件应用，以及展示动态信号行为。*

对那些需要最好的通用设计和故障检测工具以适合大范围应用的人来说，DPO 是一个理想工具。DPO 典型应用有：通信模板测试，中断信号的数字调试，重复的数字设计和定时应用。



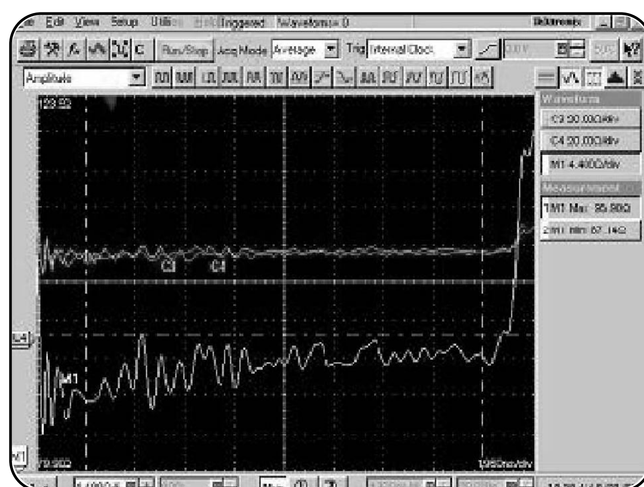
► *图20. 数字采样示波器的体系结构*

数字采样示波器

当测量高频信号时,示波器也许不能在一次扫描中采集足够的样值。如果需要正确采集频率远远高于示波器采样频率的信号,那么数字采样示波器是一个不错的选择(参看图21)。这种示波器采集测量信号的能力要比其他类型的示波器高一个数量级。在测量重复信号时,它能达到的带宽以及高速定时都十倍于其他示波器。连续等效时间采样示波器能达到50GHz的带宽。

与数字存储和数字荧光示波器体系结构不同,在数字采样示波器的体系结构中,置换了衰减器/放大器于采样桥的位置,参照图20。在衰减或放大之前对输入信号进行采样。由于采样门电路的作用,经过采样桥以后的信号的频率已经变低,因此可以采用低带宽放大器,其结果,整个仪器的带宽得到增加。

然而,采样示波器带宽的增加带来的负面影响是动态范围的限制。由于在采样门电路之前没有衰减器/放大器,所以不能对输入信号进行缩放。所有时刻的输入信号都不能超过采样桥满动态范围。因此,大多数采样示波器的动态范围都限制在1V的峰值-峰值。另一方面,数字存储和数字荧光示波器却能够处理50到100伏特的输入。



► *图21. TDS8000 数字采样示波器和80E04 20-GHz 采样模块的时域反射仪(TDR)显示*

另外,采样桥的前面不能增加保护二极管,否则会限制带宽。因此,采样示波器的安全输入电压大约只有3V,相对而言,其他示波器可以高达500V。



► *图22. 示波器的前面板调节控制部分*

示波器的各个系统和控制

示波器包含四个不同的基本系统：垂直系统、水平系统、触发系统和显示系统。理解每一个系统的含义，有助于您更有效地应用示波器，完成特定的测量任务。请记住，示波器的每一个系统对精确地重构信号都大有裨益。

本小节简要描述模拟和数字示波器的基本的系统和调节控制。模拟和数字示波器的一些控制并不相同；也许您的示波器还有其他的控制，但并没有在这里提及。

示波器的前面板分为三个主要的区域，标注为垂直区、水平区和触发区。由于模式和类型（模拟或数字）不同，您的示波器也许还有其他的区域。参看图22，在阅读本小节过程中，看看您能否在图中以及在自己的示波器中找到前面板的各区域位置。当使用示波器时，为接纳输入信号，需要对以下配置进行调整：

► 信号的衰减和放大值。通过控制伏特/格，可以把信号的幅度调整到期望测量范围内。

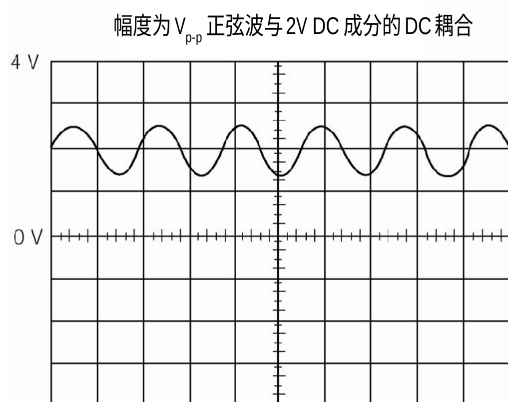
► 时基。通过控制秒/格，可以显示屏中每一水平刻度代表的时间量。

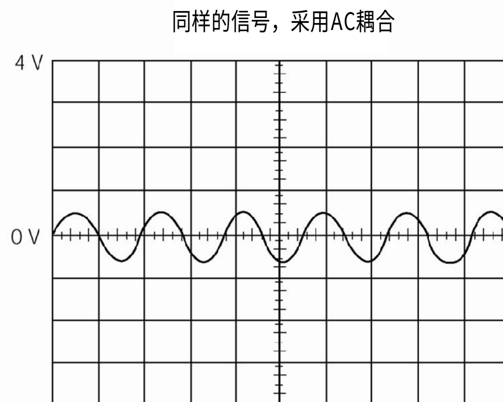
► 示波器触发。利用触发电平，可以稳定重复信号，或者触发单一的事件。

垂直系统和控制

波形垂直的位置和标度由垂直控制部分调控。垂直控制还能设置耦合方式和其他的信号条件，具体内容在本节的后面部分有讲解。通用垂直控制包括：

► 端接设备
  1M 欧
  50 欧
► 耦合方式
  DC 直流
  AC 交流
  GND 地线
► 带宽限制
  20 MHz
  250 MHz
  全带宽
► 位置
► 偏移
► 转置－开 / 关
► 标度
  1-2-5
  可变
► 缩放





► *图23. AC 和DC 输入耦合*

位置和每刻度电压

垂直位置控制使您能按照需求准确地上下移动波形。

调节每刻度电压值（通常记为volts/div，伏特/格），那么显示波形大小会随之改变。较好的通用示波器可以精确显示信号电平范围大概是从4微伏到 40 伏特。

伏特 / 格是一个标度因数。假设分为八个主要的刻度格子，如果伏特/格设置为 5 伏特，则八个垂直格中的每一个都表示5伏特，那么从下到上整个屏幕可以显示 40 伏特。如果设置的是0.5 伏特 / 格，那么从下到上可以显示 4 伏特，依此类推。屏幕显示的最大电压是伏特/ 格乘上垂直刻度的数量。注意探头有 1X 或 10X，它也影响标度因数。如果示波器没有把伏特 / 格除以衰减系数，那么您自己应该留意。

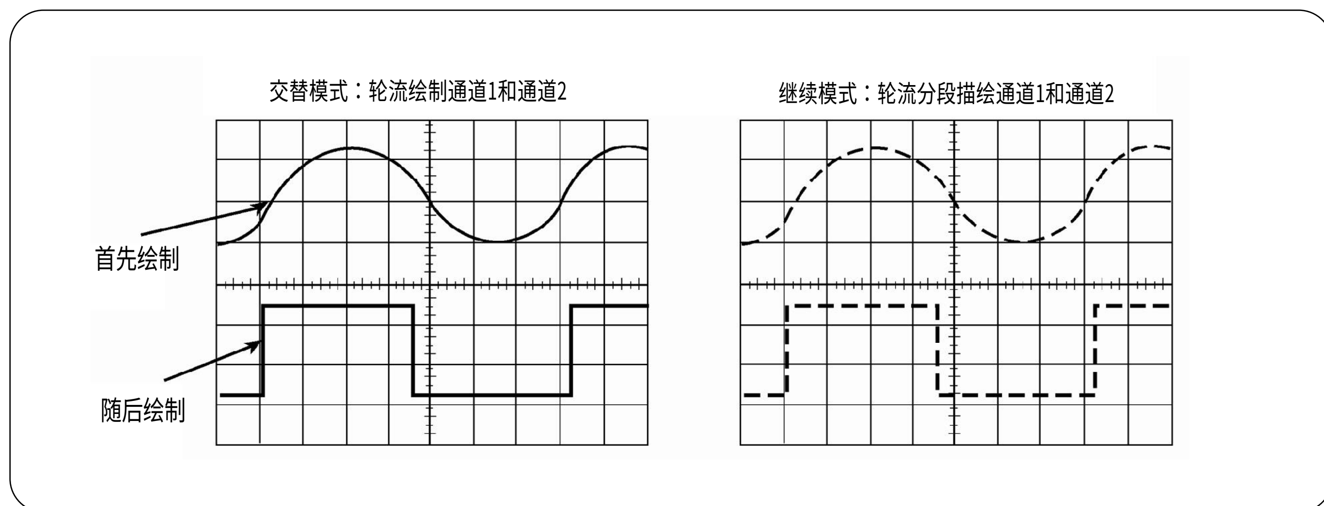
通常，伏特/ 格有可变的增益控制或精密增益控制，使显示的信号标度在数个合适的刻度内。利用这样的控制方式，方便对上升时间等的测量。

输入耦合

耦合指的是一个电路与另外一个电路中的电信号的连接方式。既然这样，那么输入耦合就指测试电路与示波器的连接。耦合方式可以设置为 DC、AC 或者地线。DC 耦合会显示所有输入信号。而AC 耦合去除信号中的直流成分，结果是显示的波形始终以零电压为中心。图23 图解了两者的不同之处。当整个信号（振荡的电流＋直接电流）大于伏特 / 格的设置时，AC 耦合非常适用。

地线

地线的设置不需要输入信号与垂直系统相连。观察地线，就可以知道屏幕中零电压的位置。如果使用的是地线输入耦合和自动触发模式，那么屏幕中就有一条表示零电压值的水平线。测试信号电压相对地的电平值的便捷方法为，把耦合从 DC 转换到地，再重新转换回 DC。



► *图24. 多通道显示模式*

带宽限制

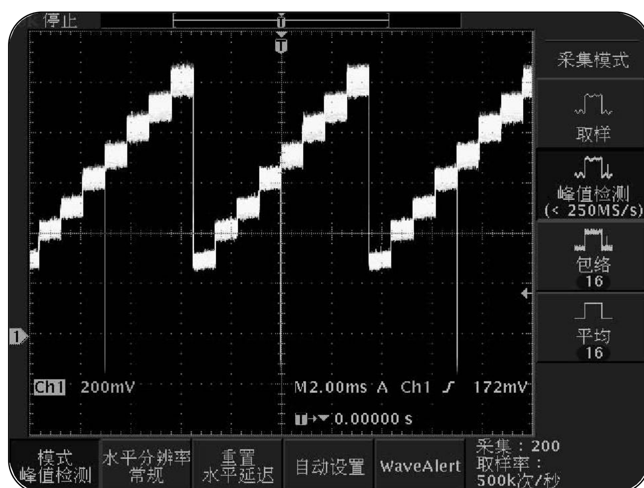
大多数示波器中存在限制示波器带宽的电路。限制带宽后，可以减少显示波形中不时出现的噪声，显示的波形会显得更为清晰。请注意，在消除噪声的同时，带宽限制同样会减少或消除高频信号成分。

交替和断续显示模式

模拟示波器显示多个信道时采用交替（alternate）或断续（chop）模式。（许多数字示波器可以同时表示多个信道，而不需要使用间隔和交替模式。）

交替模式轮流绘制每一通道：示波器首先完成通道 1 的扫描，马上对通道 2 进行扫描，接着又扫描通道1，如此循环。这一模式适用于中速到高速的信号，此时秒 / 格标度设置在 0.5ms，甚至更快。

断续模式是示波器前后变换着描绘信号中的一小段。变换的速度相当快，人眼难以注意到，波形看上去也是一个整体。典型地，捕获的扫描速度为 1ms 或者更低的慢速信号，可以采用这一模式。图24图解出两者的不同之处。有时为了得到最好的显示效果，需要在两种模式中作出选择。



► *图25. 捕获菜单示例*

水平系统和控制

示波器的水平系统与输入信号有更多的直接联系,采样速率和记录长度等需要在此设定。水平控制用来表示波形水平方向的位置和标度。通用的水平控制包括：

► 主时基
► 延迟时基
► XY 模式
► 标度
  1-2-5
  可变
► 波形踪迹区分
► 记录长度
► 分辨率
► 采样速率
► I 触发位置
► 缩放

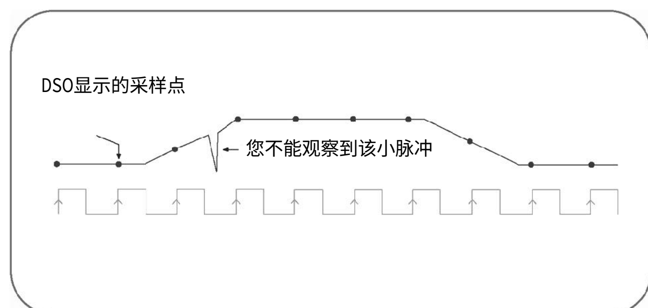
捕获控制

对数字示波器,用户可以控制捕获系统如何处理信号。在阅读下面的说明时，请察看您自己的示波器的捕获选项。图25 给出的是一个捕获菜单的例子。

捕获模式

捕获模式控制如何从采样点中产生出波形点。采样点是直接从模数转换器（ADC）中得到的数字值。采样间隔指的是相邻采样点的时间。波形点指的是存储在存储区内的数字值,它将重构显示波形。相邻波形点之间的时间差用波形间隔表示。

采样间隔和波形间隔可以一致,也可以不一样。由此产生出几种不同的实际捕获模式,其中一个波形点可以由数个捕获的采样点序列构成,另外有一种捕获模式,波形点是由若干捕获产生的采样点共同构成。随后将介绍最常用的捕获模式。



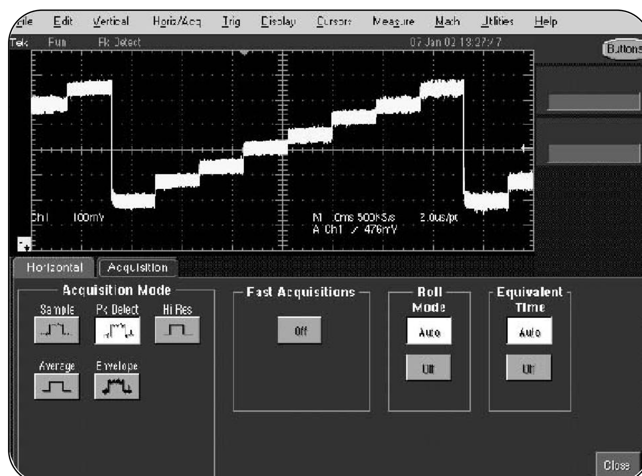
► *图26. 采样速率随时基的设置而变化：采样时基设定得越慢，采样速率也越慢。一些数字示波器提供峰值检测模式，捕获慢速扫描中发生的瞬态现象。*

捕获模式的类型

► **采样模式：**这是最简单的捕获模式。每一个波形间隔，示波器存储一个采样点的值，并做为波形的一个点。

► **峰值检测模式：**示波器将波形间隔内采样出来的采样点，选取其中的最小值和最大值，并把这些样值当作两个相关的波形点。采用峰值检测模式的示波器以非常高的采样速率运行ADC，即便设置的时基非常慢也是如此（慢时基等效为长的波形间隔）。采样模式不能捕获发生在波形点之间的快速变化的信号（参看图26），而峰值检测模式可以捕获到。利用峰值检测，非常有效地能观察到偶尔发生的窄脉冲（如图27所示）。

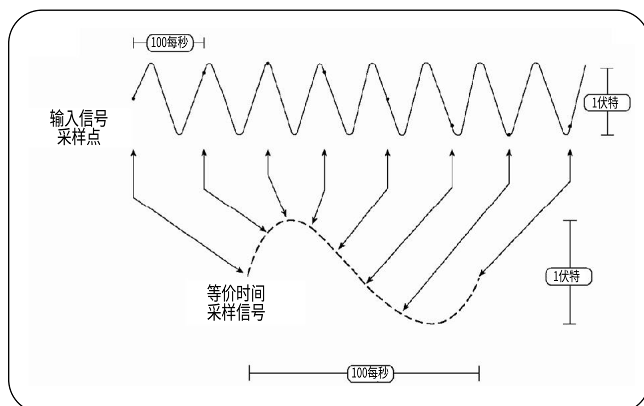
► **高分辨率 (Hi Res) 模式：**与峰值检测一样，当ADC采样快于时基的设置要求时，高分辨率模式是获取更多信息的一种方法。对于这种模式，在一个波形点时间间隔内，采多个样值，然后算出平均值，得到一个波形点。噪声会对结果产生负面影响，而低速信号的分辨率会提高。



► *图27. TDS7000系列示波器采用峰值检测模式能够捕获窄到100ps的瞬态异常*

► **包络模式：**包络模式与峰值检测模式类似。但是包络模式是由多次捕获得到的多个波形的最小和最大波形点，重新组合为新波形，表示波形随时间变化的最小/最大量。常常利用峰值检测模式来捕获记录，组合为包络波形。

► **平均值模式：**对于平均值模式，在每一个波形间隔，示波器存储一个采样点，这一点与采样模式一致。随后处理方式则不同，该模式算出连续捕获得到的波形点的平均值，然后产生最后的显示波形。平均值模式在减少噪声的同时并没有损失带宽，但它处理对象是重复的信号。



► *图28. 基本采样。采样点通过插值法形成连续波形*

捕获系统的启动和终止

数字示波器的最大优点之一是它们能够存储波形，随后再作观察。为此目的，前面板中通常都会有一个或多个按钮，用来启动和终止捕获系统，然后从容地分析波形。另外，您也许需要在一个捕获过程完成之后，或者在某设定的记录已经变为某种包络或均值波形之后，让示波器自动停止捕获。这个特性称为单次扫描或单次捕获，通常在使用其他捕获控制或者使用触发控制时，可以控制该特性。

采样

采样是为方便存储、处理和/或显示，把部分输入信号转变为许多离散电信号的过程。信号在某一时刻采样，每一个采样点的幅度与输入信号在那一时刻的幅度值相同。

采样与抓拍类似。每一个瞬间图象代表波形上某一时刻的特定点。这些瞬象按照时间顺序排列起来，就能够重构输入信号。

对数字示波器而言，一组采样点在显示屏上重构波形，垂直轴代表测量幅度，而水平轴表示时间，请参看图28。

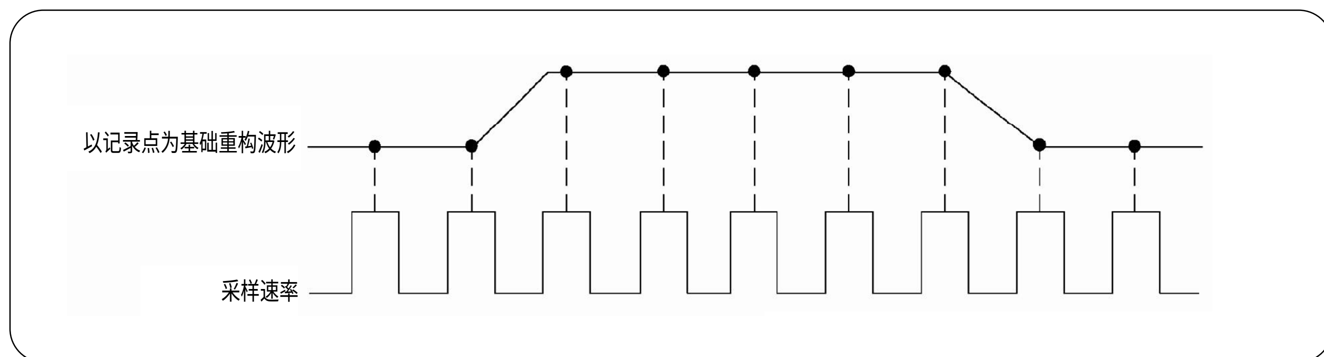
图28中，输入波形在屏幕上呈现一串点。如果点距离很远，那么很难分辨出波形，解决方法是采用插值法连接各点。插值法利用直线或矢量连接各点。许多插值算法都可以精确显示连续的输入信号。

采样控制

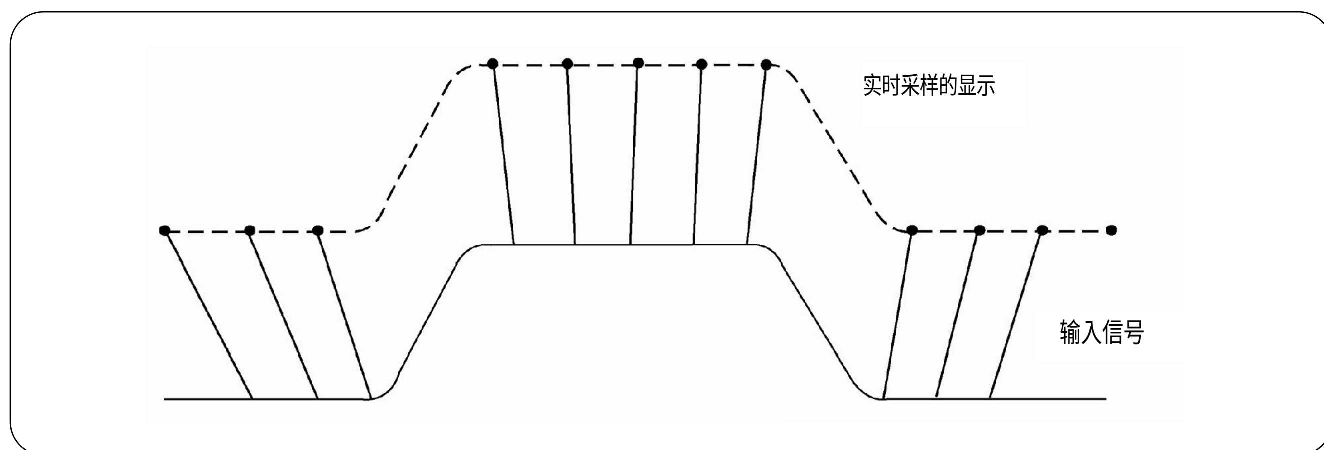
有些数字示波器可以选择采样的方式：实时采样或者等效时间采样。在示波器的捕获控制部分可以选择捕获信号的采样方式。请注意，对于慢速的捕获信号，选择结果是没有差别的；只有当ADC采样速度不够快速，不能在一遍之内把波形点填充到记录中时，作出选择才是有意义的。

采样方式

尽管有许多不同的采样技术的实现，现在的数字示波器采用两种基本的采样方式：实时采样和等效时间采样。等效时间采样可以进一步分为两种子类：随机和顺序。每一种方式都根据测量对象的不同有各自独特的优势。



► ***图29.*** *实时采样方式*

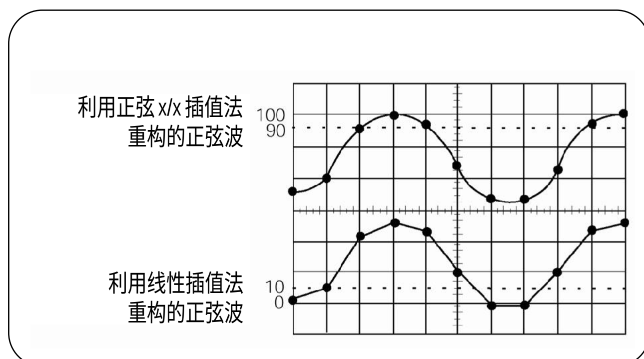


► ***图30.*** *为实时捕获这10 ns脉冲，采样速率必须足够高，才能精确定义边缘*

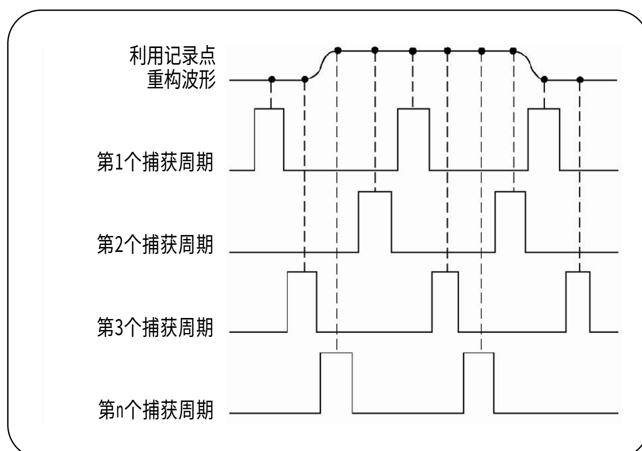
实时采样

对于频率范围在示波器最大采样速率一半以下的信号,实时采样是理想的方式。此时，通过一次“扫描”波形，示波器就能获得足够多的点重构精确的图象，如图29所示。为数字示波器采集快速、单脉冲和瞬态信号，实时采样是唯一的方式。

为了精确数字化高频瞬态事件,必需要有足够的采样速率,数字示波器的实时采样才能很好的完成这样的任务。如图30所示。这些事件只发生一次，必须在发生的同一时间帧内对其采样。如果采样速率不够快，高频成分可能会“混叠”为低频信号，引起显示混叠。另外，一旦波形经实时采样数字化,必需的高速存储器也带来更多的复杂性。为精确体现高频成分,涉及采样率和记录长度的概念,如果需要详细了解,请参看性能术语和应用部分的采样速率和记录长度一节。



► ***图31.*** *线性和sin x/x 插值法*



► ***图32.*** *有些示波器利用等价时间采样来采集和显示快速、重复的信号*

利用插值法的实时采样。数字示波器获取被显示波形的离散样值。但是，如果信号只是由各点表示，则很难观察，特别是信号的高频部分，获取的点很少，更增加了观察的难度。为增加信号的可视性，数字示波器一般都使用插值法显示模式。

简单地说，插值法 " 连接各采样点 "，即使信号在一个周期内仅采样几次，也能有精确的显示。对于利用插值法的实时采样，示波器在单程内只收集很少量的采样点，在间隙处利用插值法进行填充。插值法是利用一些点推算出整个波形样子的处理方法。

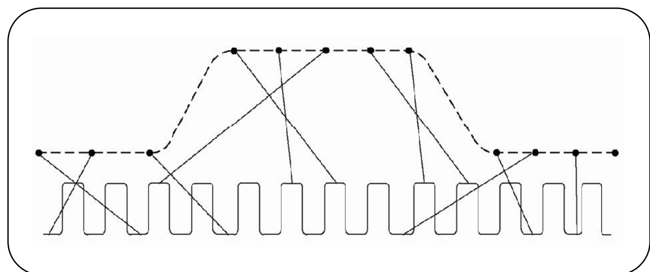
线性插值法在相邻样点处直接连接上直线。这种方法局限于重建直边缘的信号，比如方波。参看图 31。

参照图 31，sin x/x 插值法利用曲线来连接样点，通用性更强。Sin x/x 插值法利用数学处理，在实际样点间隔中运算出结果。这种插值法弯曲信号波形，使之产生比纯方波和脉冲更为现实的普通形状。当采样速率是系统带宽的 3 到 5 倍时，sin x/x 插值法是建议的插值法。

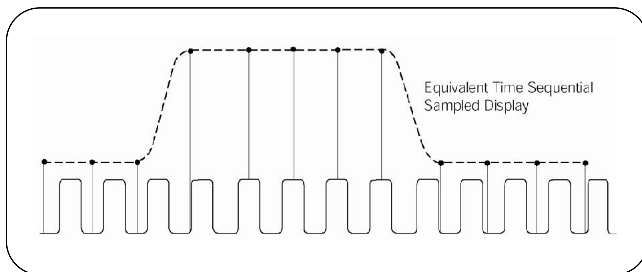
等效时间采样

在测量高频信号时，示波器可能不能在一次扫描中收集足够的样值。如图 32 所示，当信号频率超过示波器采样频率的一半时，等效时间采样可以精确捕获这些信号。等效时间数字化器（采样器）利用的原理是，大多数自然产生和人为构造的对象都具有重复性。为构建重复信号的图象，在每一个重复期内，等效时间只采样采集少量的信息。象一串灯一盏一盏依次点亮那样，波形逐渐累积而成。利用这样的方式，即使信号的频率成分远远高于示波器的采样速率，也能形成精确地采样。

有两种等效时间采样的方法：随机和连续。每一种都有其优势。随机等效时间采样允许输入信号的显示先于触发点，而不需要使用延迟线。连续等效时间采样提供更大的时间分辨率和精度。两者都要求输入信号具有重复性。



► ***图33.*** *对于随机等效时间采样，采样时钟与输入信号和触发器的时钟不同步*



► ***图34.*** *对于连续等效时间采样，经过一段延迟时间，在每一个可识别的触发处进行单独采样。每一个周期完成之后，延迟时间增加。*

随机等效时间采样。随机等效时间数字转换器（采样器）采用内部的时钟，它与输入信号和信号触发器的时钟不同步，如图33所示。样值连续不断地获得，而且独立于触发位置，显示时则由样值和触发器的时间差决定。尽管采样在时间上是连续的，但是相对于触发器则是随机的，由此产生了“ 随机 ”等效时间采样的说法。当在示波器屏幕上显示的时候，采样点沿着波形随机地出现。

捕获和显示样值优先于触发点的性能是这种采样技术的关键优势，这样，不再需要外部的预触发信号或延迟线。取决于采样速率和延迟时间窗，随机采样可以在一次触发事件中捕获多个样值。然而，对于更快的扫描速度，捕获窗口很狭窄，数字转换器不能在每一次触发时采到样值。对于这些具有更快交换速度的地方，往往需要进行相当精确的定时测量，而连续等效时间采样可以利用额外的时间分解方法，显得非常有利。

连续等效时间采样。连续等效时间采样在每一个触发捕获一个样值，而不依赖于时间/格（time/div）的设置和扫描速度，如图34所示。每发现一个触发，经过一段虽然非常短却明确的延迟，就获得样值。当发生下一次触发时，延迟增加一段小的时间增量（delta t），数字转换器则又采下一个样值。该过程重复多次，“ delta t ” 不断增加到前一个捕获量中，直到时间窗口填满。当需要显示到示波器屏幕中的时候，样点从左到右沿着波形顺序出现。

从技术的角度，产生一个非常短非常精确的 “ delta t ”，与准确测量与采样触发点相关的垂直和水平位置相比，前者要容易的多。精确的测量延迟使连续采样器很难控制时间间隔分辨能力。既然如此，如果采用连续采样，一旦发现触发电平，就对信号进行采样，如果没有模拟延迟线，触发点不可能得到显示，但是延迟线的存在会减少仪器的带宽。如果提供外部的预触发器，那么带宽就不会收到影响。

位置和秒 / 格

水平位置控制使波形在屏幕上左右准确移动。

秒 / 格设置（通常记为sec/div，秒/格）可以使您选择波形描绘到屏幕上的速率（也被称为时基设置和扫描速度)。该设置是一个标度因数。如果设置为 1ms，则表示水平方向每刻度表示 1ms，而整个屏幕宽度代表 10ms，或者10 格。改变sec/div 设置，可以看到输入信号的时间间隔作增长和缩短的变化。

垂直方向的标度是伏特 / 格，水平方向的标度是秒 / 格。水平方向改变定时关系。在各种离散设定中，可以调节水平的时间标度。

时基选择

示波器有时间基准，通常指的是主时基。许多示波器还有一种延迟时基，即基于一种扫描的时间，该扫描是在基于主时基的扫描之后经过预先确定的时间启动的（或经过触发而启动)。使用延迟时基扫描，可以更清晰地观察实例，或者是观察到在主时基扫描中不能单独看到的情况。

为了实现延迟时基，需要对时间延迟设置，还可能要使用延迟触发模式，以及其他没有在本读本中涉及的设置。参照示波器同时提供的手册，可以了解到如何使用这些特性的信息。

缩放

示波器可能有一种专门的水平放大设置，通过它，可以在屏幕上放大波形的一部分。数字存储示波器（DSO）在存储数字数据部分有对缩放的操作。

XY 模式

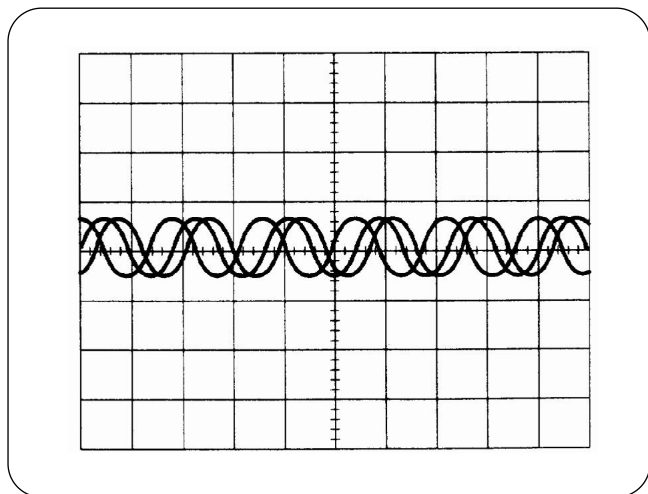
大多数模拟示波器有XY模式来显示输入信号，而普通的水平轴是时间基线。这种操作模式揭示了相移测量技术的这种全新领域，相移在测量技术一节中有详细讲解。

Z 轴

数字荧光示波器（DPO）具有高的显示采样密度，以及天生具有采集亮度信息的能力。通过亮度轴（Z 轴），DPO 能提供第三个方向，与模拟示波器那样的实时显示很相似。观察DPO的轨迹，可以看到亮度域，即信号经常发生的地方。从这样的显示中，很容易区别基本信号形状和那些偶尔发生的瞬态信号，因为基本信号显示出来的更亮。Z轴的一个应用是，把特殊的时间信号分别置入Z轴的输入端，可以在波形中形成高亮显示的表示时间间隔的 “ 标记 ” 点。

XYZ 模式

有一些 DPO 使用 Z 输入，建立 XY 显示的亮度级。既然如此，可以把 DPO 采样到的瞬时数据值放到 Z 的输入端，这样可以限定波形的特定部分。一旦限定采样后，这些样值又可以存储下来，结果是有亮度等级的 XYZ 显示。XYZ 模式可以显示极点，这在测试无线通信设备特别适用（例如，星座图)。



► *图35. 未经触发的显示*

触发系统和控制

示波器的触发功能可以在信号的正确点处同步水平扫描,这对表现清晰的信号特性非常重要。触发控制可以稳定重复波形，采集单脉冲波形。

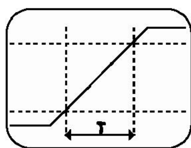
触发器使重复波形能够在示波器屏幕上稳定显示,实现方法是不断地显示输入信号的相同部分。可以想象,如果每一次扫描的起始都从信号的不同位置开始，那么屏幕上的图象会很混乱，如图 35 所示。

模拟和数字示波器都有边缘触发的方式,边缘触发是最基本和常见的类型。模拟和数字示波器都提供触发门限,除此之外,许多数字示波器提供许多特定的触发设置,而这些设置是模拟设备所不具备的。这些触发器可以响应输入信号的不同条件,这样会使检测简化。例如,如果一个脉冲比实际应该达到的宽度要窄。若是只使用电压门限的触发器,不可能检测到这样的脉冲。

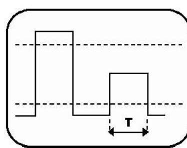
高级触发控制使您可以单独关注感兴趣的地方,这样可以使示波器采样速率和记录长度得到优化。有一些示波器提供更高级的可选控制。您可以定义由脉冲幅度触发（比如矮脉冲），由时间限定（脉冲宽度、毛刺、信号压摆速率、建立/保持时间违规和超时），以及由逻辑状态或码型（逻辑触发方式）。

为检查通信信号,有一些示波器专门设计出可供选择的触发控制方式。有些示波器也提供简化的用户界面,提供适用于各种测试的触发参数的快速配置，充分提高您的生产率。

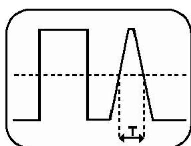
当您使用的触发信号超过四通道时,逻辑分析仪是更好的工具。为了解这些有价值的测试和测量仪器，请参考《泰克逻辑分析仪 XYZ》。



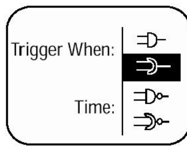
压摆率触发。如果高频信号的响应速率比期望或需要的快，则发出易出故障的能量。响应速率触发优于传统的边缘触发，这是因为增加了时间元素，以及允许您选择触发边缘的快慢。



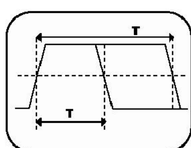
矮脉冲触发。利用短脉冲触发，可以采集和检查通过一个逻辑门限，但不能同时通过二个的脉冲。



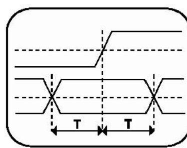
毛刺触发。当数字脉冲比用户定义的时间限制短或长的时候，可以利用毛刺脉冲触发方式识别出来。即使毛刺脉冲很少，这种触发控制能使您检查出产生的原因，以及它们对其他信号的影响。



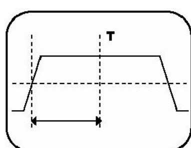
逻辑触发。如果输入通道的逻辑组合满足触发条件时，产生触发，则为逻辑触发，这特别适用于验证数字逻辑的操作。



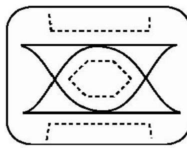
脉冲宽度触发。利用脉冲宽度触发，您可以长时间监视信号，当脉冲的持续时间（脉冲宽度）第一次超过允许范围时，引起触发。



建立和保持触发。只有建立和保持触发才能捕获到建立和保持时间内的违例情况，使用其他模式必然会忽略掉此情况。当同步的数据信号未能满足建立和保持规格时，采用触发模式可轻松地采集到特定的信号质量和定时细节。



超时触发。利用超时触发，基于特定时滞设置触发，可以不必等到触发脉冲结束就可以产生触发事件。



通信触发。在一些示波器中可选。这样的触发适合捕获信号交替反转（Alternate-Mark Inversion, AMI）、传号码元反转（Code-Mark Inversion, CMI）和不归零码（Non-Return to Zero, NRZ）的大范围变化情况。

触发位置

只有数字示波器才有水平触发位置控制。触发位置控制也许就在您的示波器的水平控制部分。它实际上代表的是波形记录中触发的水平位置。

变更水平触发位置，可以允许您采集触发事件以前的信号，称为预触发视图（pre-trigger viewing）。这样，可以确定触发点前面部分和后面部分所包含的可视信号的长度。

数字示波器能够处理预触发视图的原因是，不管是否接收到触发，它们一直都在处理着输入信号。稳定的数据流流过示波器；触发器很少告诉示波器把当前数据存储到存储器中。相比之下，在接收到触发以后，模拟示波器只是显示信号，即记录到CRT上。这样，模拟示波器不能提供预触发视图的功能。只不过在垂直系统中，由延迟线提供了小量的预触发。

预触发视图是一个有价值的处理故障的工具。如果有故障间歇地发生，那么可以利用触发来解决这样的问题，记录故障发生前的事件，很有可能就能找到原因。

触发电平和斜率

触发电平和斜率控制定义基本的触发点，决定波形如何显示，如图36所示。

触发电路担当比较器的工作。您选择比较器一个输入口的斜率和电平。当进入比较器的另外一个输入口的触发信号与设定值相匹配的时候，示波器产生触发。

- 斜率控制决定触发点是位于信号的上升沿还是下降沿。上升沿具有正斜率，而下降沿是负斜率。
- 电平控制决定触发点在边缘的何处发生。

触发源

示波器没有必要对显示信号进行触发。可以触发扫描的触发源如下：

- 任何输入通道
- 不同于输入通道的外部源
- 电源信号
- 来自一个或多个通道，并由示波器内部定义的信号

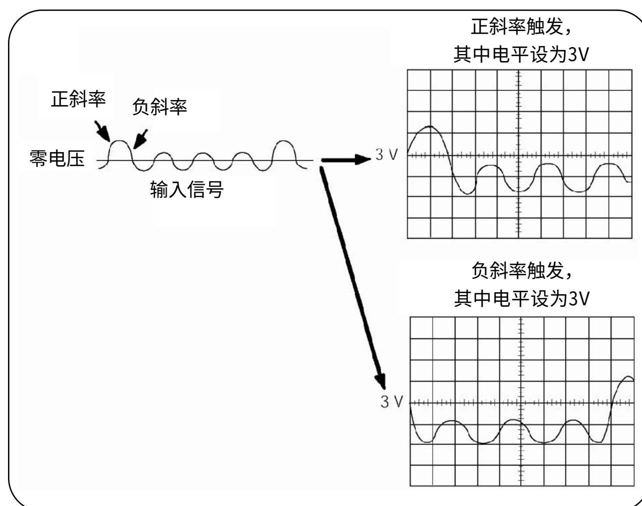
大多数情况，示波器设置在由被显示信号的通道触发。一些示波器提供触发输出信号，可以成为其他仪器的触发信号。

示波器可以使用交替的触发源，而不一定是被显示信号。您应该小心谨慎，例如，避免无意之中以通道1 作触发，而实际又是显示的通道2的波形。

触发模式

触发模式决定示波器是否按照信号的条件描绘波形。通用触发模式包括正常和自动。

对于正常模式，只有当输入信号满足设置的触发点时，才进行扫描；否则（对模拟示波器而言）屏幕呈黑色或者（对数字示波器而言）冻结在上一次捕获的波形图上。由于可能不会首先看到信号，如果电平控制的调整不正确时，正常模式可能会迷失方向。



► *图36. 正和负斜率触发*

即使没有触发，自动模式也能引起示波器的扫描。如果没有信号输入，示波器中的定时器触发扫描。这使得即使信号并不引起触发，显示也总不会消失。

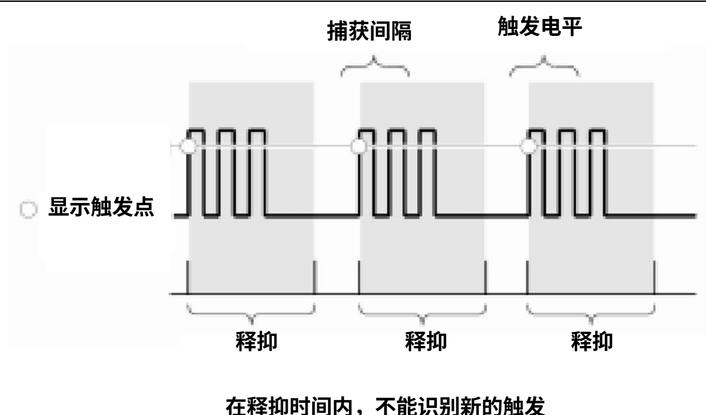
实践中，您可能会同时使用两种模式：采用普通模式，因为即便触发以很慢的速率发生，它也让您可以观察所感兴趣的内容；而采用自动模式，因为几乎不需要作调整。

许多示波器也包含了其他的特殊模式，适用于单个扫描、视频信号的触发，或者自动配置触发电平。

触发耦合

就象在垂直系统中选择AC或DC那样，可以为触发信号选择各种耦合方式。

除AC和DC耦合之外，您的示波器也许还有高频抑制、低频抑制和噪声抑制的触发耦合方式。这些特殊的设置对消除触发噪声很有用处，噪声的消除可以避免错误的触发。



►*图37. 触发释抑*

触发释抑

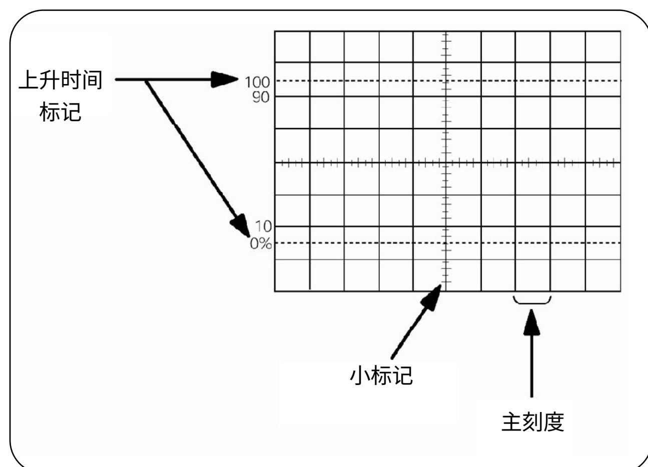
有时,为了使示波器能在信号的正确部分触发并不容易。许多示波器采用专门特性，简化了任务。

触发器释抑时间是发生正确触发后的一段时间,在这段时间内,示波器不能触发。当触发源是复杂波形的时候，该特性能发挥作用，其结果是，只有在适当的触发点示波器才能触发。图37图解出如何使用触发释抑特性来创建出有用的显示。

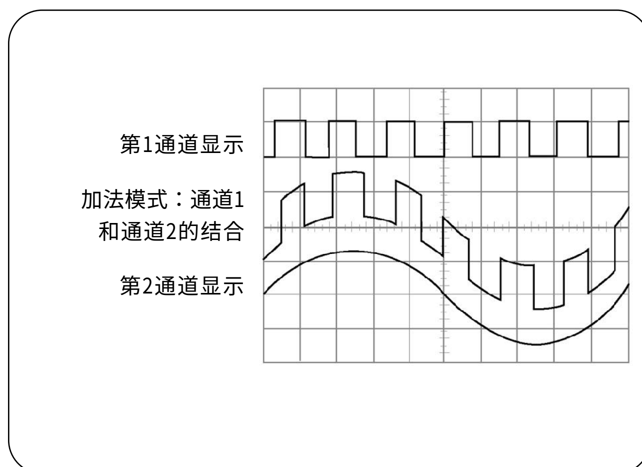
显示系统和控制

示波器的前面板包括的内容有显示屏、旋钮、按钮、开关，以及用来控制信号捕获和显示的指示器。本节的前面已经提及,前面板控制通常分为垂直、水平和触发几个区域。前面板还包括输入连接器。

来看一看示波器显示屏。请注意屏幕中的栅格记号,这些记号形成格子线。垂直和水平线构成主刻度格。格子线通常布置为8×10的区块。示波器控制的标号（例如伏特/格和秒/格）通常参照的是主刻度。中央的水平线和垂直线上标注的标号称为小刻度，如图38所示。许多示波器的屏幕显示的是每一个垂直刻度表示多少伏特的电压,以及每一个水平刻度表示多少秒的时间。



► *图38. 示波器刻度格示例*



► *图39. 通道相加*

模拟示波器和数字示波器的显示系统很不相同。通用的控制如下：

► 亮亮度控制调整波形的亮度。当增加模拟示波器的扫描速度的时候，需要增加亮度级。

► 聚焦控制用来调整波形的锐度，轨迹旋转控制把波形定位到屏幕的水平轴上。受地球磁场的影响，示波器在不同地方有不同的准线。基于光栅和基于LCD的显示屏的数字示波器也许不需要这些控制，因为对于这些显示屏，整个显示情况是预先确定的，这与个人计算机的显示一致。与此相对，模拟示波器采用的是直接的光束或者矢量的显示。

► 许多DSO和DPO有调色板，可以选择轨迹颜色以及不同亮度级的颜色。

► 显示部分的其他控制包括调整栅格灯的亮度、任何屏幕信息的开关（比如菜单）。

其他示波器控制

数学和测量操作

也许您的示波器有相加波形的操作，形成新的波形显示。模拟示波器组合信号，而数字示波器通过数学运算创建新的波形。波形相减是另外一种数学操作。模拟示波器实现减法运算采用的方法是把一个通道的信号反转，然后再采用加法操作。数字示波器一般也能完成减法操作。图39图解的是通过组合两个不同信号而创建出第三个波形。

数字示波器利用内部处理器，提供许多高级数学操作：相乘、相除、积分、快速傅立叶变换，等等。

我们已经讲解过初学者需要了解的基本示波器控制。您的示波器可能还具有许多对其他功能的控制。举例如下：

- ► 自动参数测量
- ► 测量光标
- ► 为数学操作或数据输入配备的小键盘
- ► 打印能力
- ► 示波器与计算机相连，或者直接与因特网相连的接口

为了揭示关于这些其他控制的更多内容，请察看您所能得到的其他选项，并阅读示波器手册。

完整的测量系统

探头

即使是最高级的设备也只能达到输入设备的数据的精度。探头的作用是把示波器和测量系统连接起来。精密的测量是从探头触点开始的。正确的探头自然匹配示波器和试验件（DUT），探头不仅仅要求把信号纯洁地送入示波器，还需要放大和保护，以最大限度满足信号的完整性和测量的精度。

► 为确保精确重构您的信号，请选择合适的探头与您的示波器配合，保证探头超过信号带宽 5 倍。

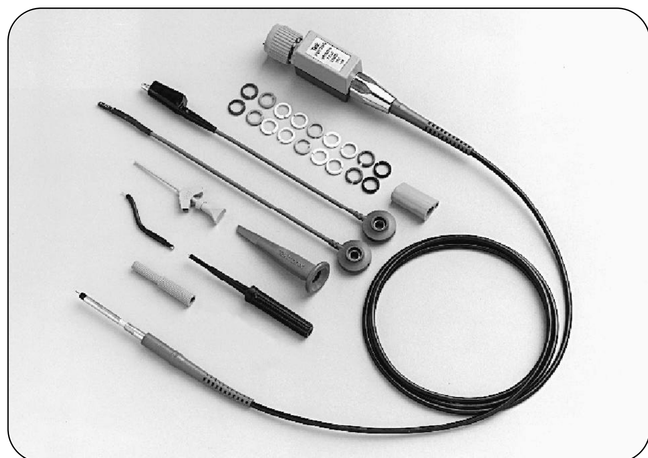


► *图 40. 高密度设备和系统需要小尺寸探头*

探头实际上也是电路的一部分，引入阻性、容性和感性负载，这些负载不可避免地改变测量参数。当需要精确的结果时，选择的探头需要有最小的负载。与示波器配对的理想的探头将最小化这种负载，能充分发挥您的示波器的能力、特性和容限。

当选择与 DUT 的所有重要连接时，还需要考虑的是探头的尺寸。小尺寸的探头使对高密度封装的电路的探测更为容易。

随后将讲解探头的类型。探头对整个测量系统至关重要，为进一步了解探头的信息，请参照泰克的《探头 ABC》。



► *图41. 典型的无源探头及附件*

无源探头

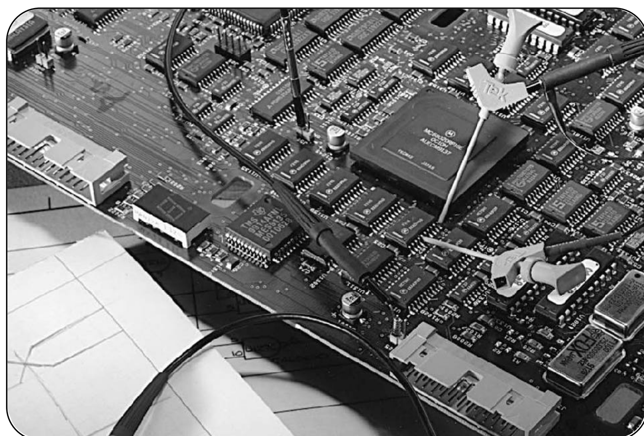
在测量一般的信号和电平时，无源探头使用方便，能够以普通的价格在大范围内满足测量需求。当测量电源时，配合使用无源电压探头和电流探头是理想的解决方案。

大多数无源探头有一些衰减因数，例如10X、100X，等等。按照惯例，衰减因数在因数的后面标注X，例如10X衰减探头。与此对应，放大因数把X防到前面，例如X10。

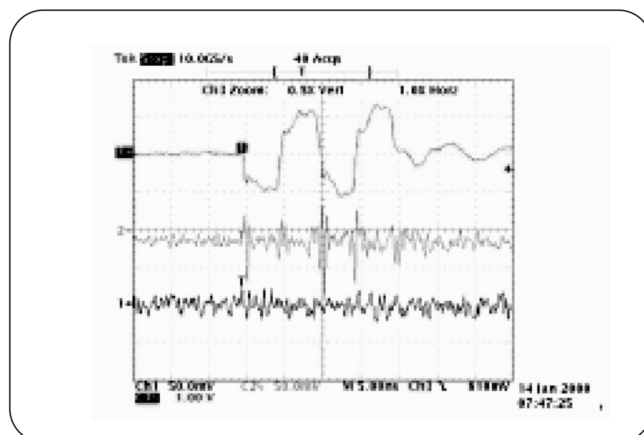
10X（读作“10倍”）衰减探头减少了电路的负载，而1X探头则是极好的通用无源探头。对于高频和/或高阻抗信号源，电路负载的影响重大，所以首先要分析信号和探头负载的相互影响，然后再选择探头。10X衰减探头改善测量的精确性，同时把示波器输入的信号幅度减少为原来的十分之一。

由于10X衰减探头削弱了信号，因此很难观察峰值-峰值不足10毫伏的信号。1X探头与10X衰减探头类似，但没有衰减电路。由于没有衰减电路，被测电路会引入更多的干扰。可以把10X探头作为您的通用探头，而把1X探头用于测量低速、低幅度信号。一些探头在探头触点处提供方便选择1X和10X的开关。如果您的探头具有这项功能，那么在测量之前确认使用了正确的设置。

10X衰减探头平衡着探头的电特性和示波器的电特性。在使用10X衰减探头之前，需要对特定的示波器调节平衡关系。这种调整称为探头校正，在本书的操作示波器一节中有详细的描述。



► *图42. 现代计算机总线和数据传输线具有快速时钟和边缘，在测量时高性能的探头非常重要*



► *图43. 差分探头能把共模噪声从信号内容中分离出去，这些信号尤指当今的高速、低电压应用，这在集成电路中数字信号低于典型的噪声门限时尤为重要。*

无源探头为通用探测提供极好的解决方案。但是，通用无源探头不能精确测量具有非常快的上升时间的信号。还可能会将干扰引入敏感电路。信号时钟速率和边缘速度需要稳定的上升沿，这需要更高速度和更少负载影响的探头。在测量高速和/或差分信号时，高速有源和差分探头是理想的解决方法。

有源和差分探头

随着信号速度的快速增长和低电压逻辑日益普遍，要获得精确的测量结果越来越困难。信号保真度和设备负载成为关键问题。高速环境中完整的测量方案也包括，为匹配示波器性能提供高速、高保真度的探头方案（如图 42）。

有源和差分探头专门针对集成电路开发，在访问和传输到示波器的过程中，它们能够保护信号，以确保信号完整性。为测量具有快速上升时间的信号，使用有源或差分探头可达到更为精确的结果。



► ***图44.*** *泰克TekConnect™ 的接口保护高到10GHz 信号完整性，足以满足目前和未来的带宽需求。*



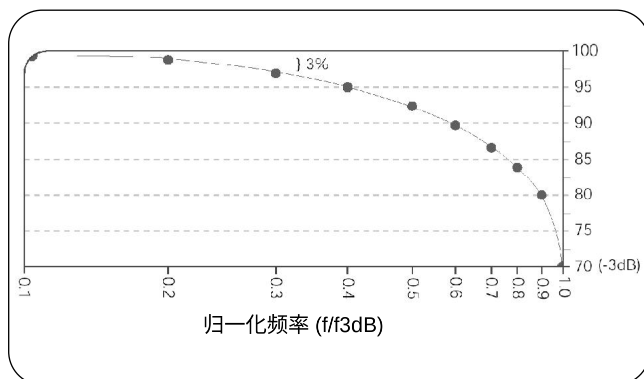
► ***图45.*** *泰克SF200A 和SF500 Series SureFoot™ 适配器提供探头触点与集成电路的特殊管脚之间的可靠的短距离连接。*

探头附件

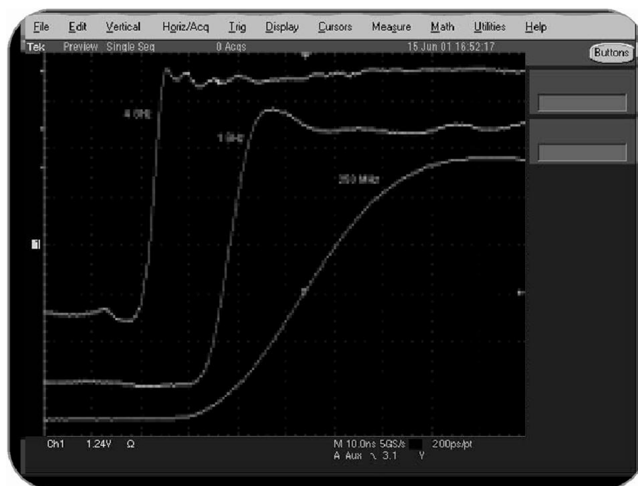
许多现代的示波器提供专门的针对输入和配合探头接口的自动化的特性。对于一些智能探头接口，当探头一连接到仪器上，就会把探头的衰减因数告知示波器，示波器则标度显示，把探头衰减考虑到屏幕的读数里。一些探头接口也能识别探头的类型，即无源探头、有源探头或电流探头。接口可以成为探头的DC电源。有源探头有自己的放大器和缓冲电路，它们需要 DC 电源。

当测量高速信号时，为提高信号完整性，也提供地线和探头触点附件。对于探头触点和地线与 DUT 之间连接，地线适配器提供了间距上的适应性，可以在探头触点和 DUT 之间保持短距离连接。

关于探头附件的更多信息，请参照泰克的《探头 ABC》。



► *图46. 示波器的带宽指的是正弦输入信号衰减到其实际幅度的70.7%时的频率值，即－3dB 点*



► *图47. 带宽越高，信号的再现越准确，图示信号的捕获速率分别是250MHZ、1GHZ 和4GHZ 带宽等级*

性能术语及其应用

如前所述，示波器类似于照相机，能够捕获我们所感知的信号图象。按快门的速度、采光条件、光圈和胶卷的ASA 等级都会影响照相机捕获图象的清晰度与准确度。示波器的基本体系结构也类似，示波器的性能考虑将在很大程度上影响到其对所要求的信号完整性的实现能力。

掌握一门新技术通常涉及到学习新的词汇，学习使用示波器也是如此。本部分将描述一些常用的度量标准和示波器的性能术语。这些术语用来描述一些基本准则，而这些准则正是正确选择操作所用的示波器的依据。理解和掌握这些术语将有助于评定和比较不同的示波器。

带宽

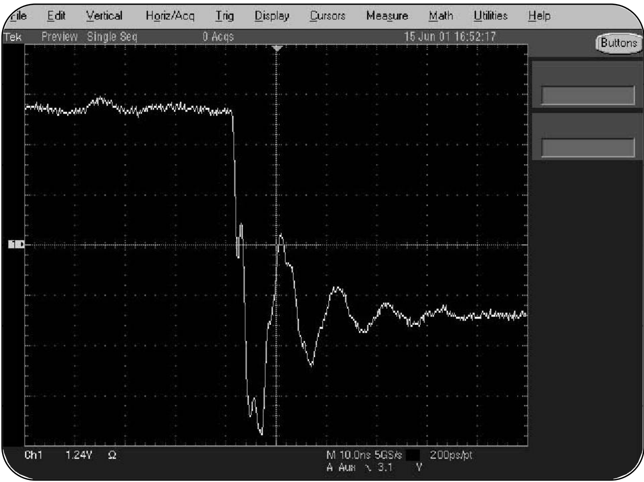
带宽决定示波器对信号的基本测量能力。随着信号频率的增加，示波器对信号的准确显示能力将下降。本规范指出示波器所能准确测量的频率范围。

示波器带宽指的是正弦输入信号衰减到其实际幅度的 70.7% 时的频率值，即－ 3dB 点，基于对数标度（见图 46）。

如果没有足够的带宽，示波器将无法分辨高频变化。幅度将出现失真，边缘将会消失，细节数据将被丢失。如果没有足够的带宽，得到的关于信号的所有特性，响铃和振鸣等都毫无意义。

► **5 倍准则 (The 5 times rule)**
示波器所需带宽＝被测信号的最高频率成分× 5

测定示波器带宽的方法：在具体操作中准确表征信号幅度，并运用5倍准则。使用五倍准则选定的示波器的测量误差将不会超过＋/－2%，对今天的操作来说已经足够。然而，随着信号速率的增加，这个经验准则将不再适用。记住，带宽越高，再现的信号就越准确（见图 47）。



► *图48. 高速数字信号的上升时间特性*

逻辑系列	典型的信号上升时间	计算出的信号带宽
TTL	2 ns	175 MHz
CMOS	1.5 ns	230 MHz
GTL	1 ns	350 MHz
LVDS	400 ps	875 MHz
ECL	100 ps	3.5 GHz
GaAs	40 ps	8.75 GHz

► *图49. 一些逻辑系列本质上具有更快的上升时间*

上升时间

在数字世界中，时间的测定至关重要。在测定数字信号时，如脉冲和阶跃波，可能更需要对上升时间作性能上的考虑。示波器必须要有足够长的上升时间，才能准确地捕获快速变换的信号细节。

上升时间描述示波器的有效频率范围。一般用下面的公式来计算特定信号类型示波器的上升时间：

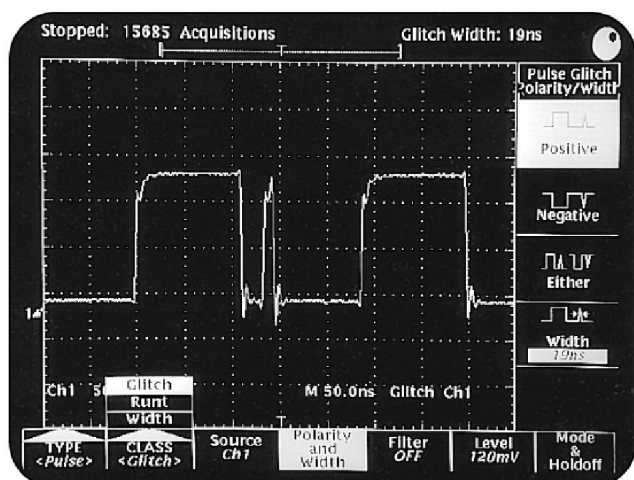
► **示波器上升时间＝被测信号的最快上升时间＋ 5**

请注意，选择示波器上升时间的依据类似于带宽的选择依据。对于带宽，考虑到信号速率的极端情况，这个经验准则也并不总是适用。记住，示波器的上升时间越快，对信号的快速变换的捕获也就越准确。

在一些应用中，可能只有信号的上升时间是已知的。带宽和上升时间通过一个常数相关联：

► **其中，k 是介于 0.35 和 0.45 之间的常数，它的值取决于示波器的频率响应特性曲线和脉冲上升时间响应。对带宽小于 1 GHz 的示波器，其常数 k 的典型值为 0.35，而对带宽大于 1GHz 的示波器，其常数 k 的值通常介于 0.40 和 0.45 之间。**

如图 49 所示，一些逻辑系列本质上具有更快的上升时间。



► ***图50.** 较高的采样速率提供较高的信号分辨率,可以让读者观察到断续的事件*

采样速率

采样速率 : 表示为样点数每秒(S/s),指数字示波器对信号采样的频率,类似于电影摄影机中的帧的概念。示波器的采样速率越快,所显示的波形的分辨率和清晰度就越高,重要信息和事件丢失的概率就越小,如图50 所示。如果需要观测较长时间范围内的慢变信号,则最小采样速率就变得较为重要。典型地,为了在显示的波形记录中保持固定的波形数,需要调整水平控制按钮,而所显示的采样速率也将随着水平调节按钮的调节而变化。

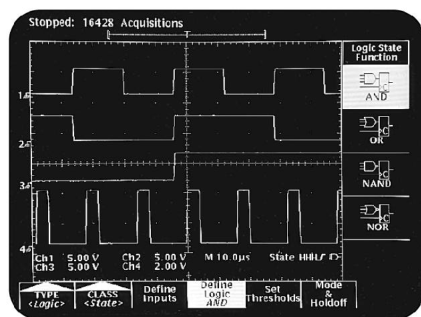
如何计算采样速率?计算方法取决于所测量的波形的类型,以及示波器所采用的信号重构方式。

为了准确地再现信号并避免混淆,奈奎斯特定理规定,信号的采样速率必须不小于其最高频率成分的两倍。然而,这个定理的前提是基于无限长时间和连续的信号。由于没有示波器可以提供无限时间的记录长度,而且,从定义上看,低频干扰是不连续的,所以,采用两倍于最高频率成分的采样速率通常是不够的。

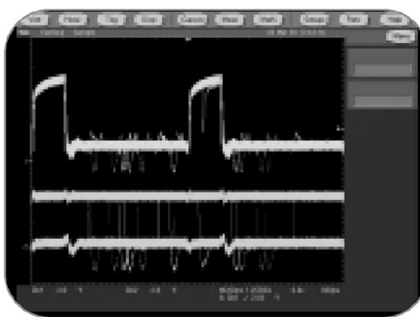
实际上,信号的准确再现取决于其采样速率和信号采样点间隙所采用的插值法。一些示波器会为操作者提供以下选择:测量正弦信号的正弦插值法,以及测量矩形波、脉冲和其他信号类型的线性插值法。

► **在使用正弦插值法时,为了准确再现信号,示波器的采样速率至少需为信号最高频率成分的 2.5 倍。使用线性插值法时,示波器的采样速率应至少是信号最高频率成分的 10 倍。**

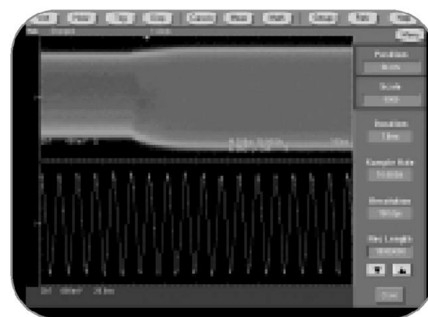
一些采样速率高达20GS/s,带宽高达4GHA的测量系统用5倍于带宽的速率来捕获高速,单脉冲和瞬态事件。



► ***图51.** DSO 为非重复性、高速和多路数字设计应用提供理想的解决方案。*



► ***图52.** 通过提供更高的波形捕获速率和三维显示，DPO 可以得到更高等级的信号特性，使其在一系列应用中，成为最通用的设计和故障检修工具。*



► ***图53.** 捕获85 MHz 的调制载波的高频特性需要高分辨率的采样（100ps）。需要有较长的持续时间（1ms），才能观察到信号的完整调制包络。示波器可以把以上两者都显示出来。*

波形捕获速率

所有的示波器都会闪烁。也就是说，示波器每秒钟以特定的次数捕获信号，在这些测量点之间将不再进行测量。这就是波形捕获速率，表示为波形数每秒（wfms/s）。采样速率表示的是示波器在一个波形或周期内，采样输入信号的频率，波形捕获速率则是指示波器采集波形的速度。波形捕获速率取决于示波器的类型和性能级别，且有着很大的变化范围。高波形捕获速率的示波器将会提供更多的重要信号特性，并能极大地增加示波器快速捕获瞬时的异常情况，如抖动、矮脉冲、低频干扰和瞬时误差的概率（参见图 51 和 52）。

数字存储示波器（DSO）使用串行处理机制，每秒钟可以捕获10到5000个波形。一些DSO 提供一种特殊的模式，它能迅速把各种捕获信息存储到海量存储器中，暂时提供较高的波形捕获速率，而随后是较长的一段处理时间，这段处理时间内不重新活动，减少了捕获稀少和间歇事件的可能性。

大多数数字荧光示波器（DPO）采用并行处理机制来提供更高的波形捕获速率。一些DPO 可以在一秒钟之内获得数百万个波形，大大提高了捕获间歇的和难以捕捉事件的可能性，并能让用户更快地发现信号中存在的问题。而且，DPO的实时捕获和显示三维信号特性（如幅度、时间以及幅度的时间分布特性）的能力使其能够得到更高等级的信号特性。

记录长度

记录长度表示为构成一个完整波形记录的点数，决定了每个通道中所能捕获的数据量。由于示波器仅能存储有限数目的波形采样，波形的持续时间和示波器的采样速率成反比。

$$\text{Time Interval} = \frac{\text{Record Length}}{\text{Sample Rate}}$$

现代的示波器允许用户选择记录长度，以便对一些操作中的细节进行优化。分析一个十分稳定的正弦信号，只需要 500 点的记录长度；但如果要解析一个复杂的数字数据流，则需要有一百万个点或更多点的记录长度。

触发能力

示波器的触发功能在正确的信号位置点同步水平扫描，决定着信号特性是否清晰。触发控制按钮可以稳定重复的波形并捕获单脉冲波形。

关于触发性能的更多的信息请参考性能术语和应用的触发器部分。

有效比特

有效比特是示波器准确再现正弦信号波形的能力的度量。这个度量将示波器的实际错误同理论上理想的数字化仪进行比较。由于实际的误差数包括噪声和失真，所以，必须指定信号的频率和幅度。

频率响应

仅仅采用带宽是不足以保证示波器准确捕获高频信号的。示波器设计的目标是一个特定类型的频率响应：最大平坦包络时延（MFED）。此类型的频率响应应用最小的过冲和阻尼振荡，提供极好的脉冲逼真度。由于数字示波器是由实际的放大器、衰减器、模数转换器（ADC）、连接器和继电器组成，MFED响应只是对目标值的一个逼近。不同模型和不同制造商的产品的脉冲逼真度有着很大的不同（图 46 说明了这一概念）。

垂直灵敏度

垂直灵敏度指示垂直放大器对弱信号的放大程度，通常用每刻度多少毫伏（mv）来表示。多用途示波器能检测出的最小伏特数的典型值约为 1mv 每垂直显示屏刻度。

扫描速度

扫描速度表征轨迹扫过示波器显示屏的速度有多快，使您能够发现更细微的细节。示波器的扫描速度用时间 (秒) / 格表示。

增益精度

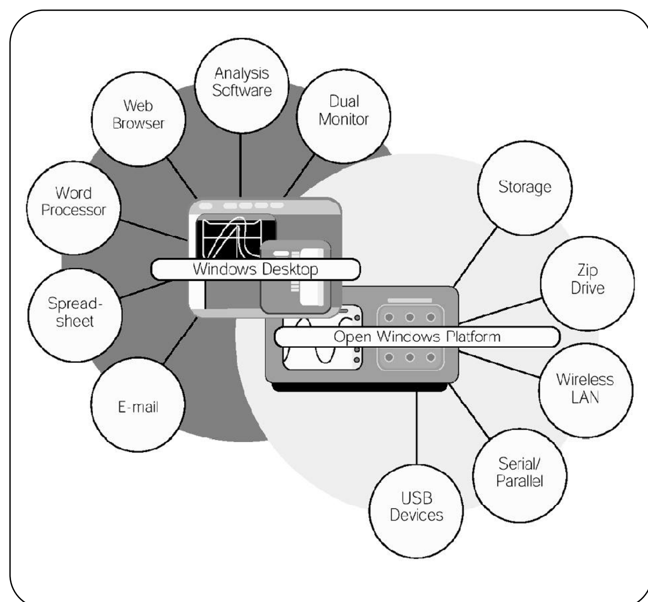
增益精度是表征垂直系统对信号的衰减或放大的准确程度，通常用多少百分比误差来表示。

水平准确度(时间基准)

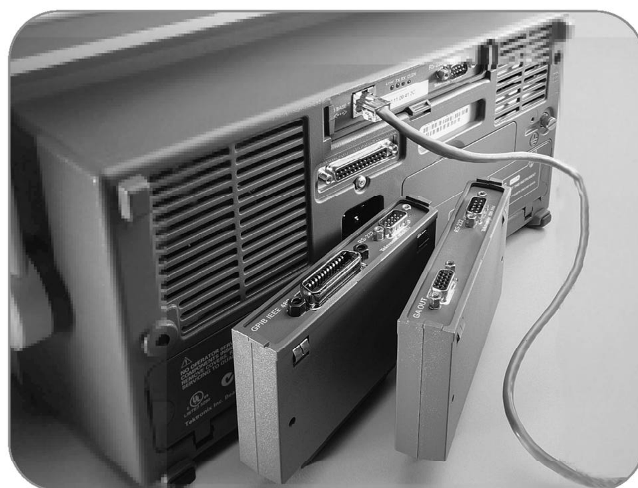
水平或者时基准确度是指在水平系统中，显示信号的定时的准确程度，通常用多少百分比误差表示。

垂直分辨率(模数转换器)

模数转换器的垂直分辨率，也就是数字示波器的垂直分辨率，是指示波器将输入电压转换为数字值的精确程度。垂直分辨率用比特数来度量。计算方法能提高有效的分辨率，例如高分辨率捕获模式。请参考示波器系统和控制部分的水平系统和控制一节。



► *图54. TDS7000系列示波器将人和设备连接在一起，提高整个工作组的生产率。*



► *图55. TDS3000B 系列示波器提供一系列的通信接口，如标准的Centronic 端口和以太网，可选的RS-232、GPIB/RS-232 和VGA/RS-232 模块。*

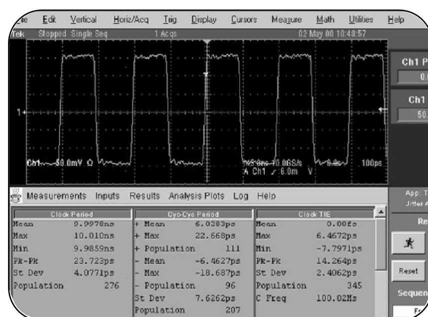
互联性

对测量结果的分析是非常重要的。将信息和测量结果在高速通信网络中便捷地保存和共享也变得日益重要。

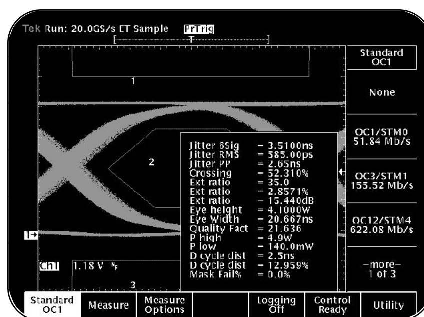
示波器的互联性提供对结果的高级分析能力并简化结果的存档和共享。一些示波器通过标准的接口（GPIB、RS-232、USB、以太网）和网络通信模式提供一系列的功能和控制方式。

一些高级示波器可以：

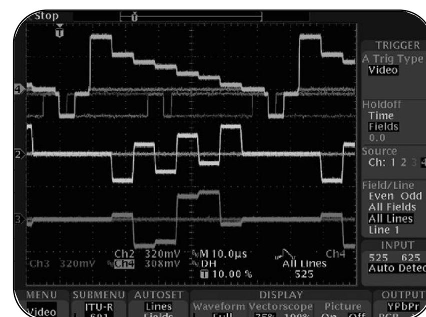
- 在执行具体操作的同时在示波器上创建、编辑和共享文档
- 访问网络打印机和文件共享资源
- 访问 Windows 桌面
- 运行第三方的分析和文件管理软件
- 连接网络
- 访问因特网
- 发送和接收电子邮件



► ***图56.*** *TDS7000 系列示波器的TDSJIT2 可选软件包是为满足当代高速数字设计者测量抖动的需要而专门设计的。*



► ***图57.*** *TDS700系列示波器配置TDSCEMT应用模块，对通信信号进行模板测试。*



► ***图58.*** *TDS3SDI 视频模式是TDS3000 成为快速、全面的视频疑难检修工具。*

可扩展性

示波器应该能够不断地适应需求的变化。一些示波器可以：

► 增加通道的内存以分析更长的记录长度

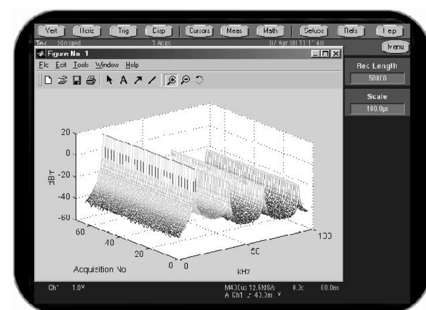
► 增加面对具体应用的测量功能

► 有一整套的兼容的探头和模块，加强示波器的能力

► 同通用的第三方的 Windows 兼容的分析软件协同工作

► 增加附件，如电池组和机架固定件

应用模块和软件将把示波器变成一个专用的分析工具,它可以执行以下功能：进行抖动和定时分析，微处理器存储体系验证，通信标准测试，磁盘驱动测量，视频测量，功率测量，等等。



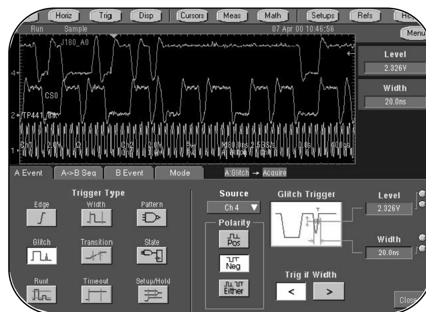
► ***图59.*** *高级分析软件，如MATLAB，能被安装在TDS7000 系列示波器中，用于信号分析。*



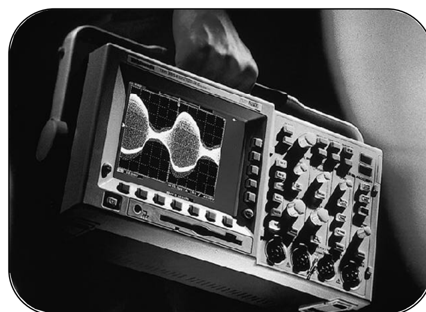
► *图60. 传统模拟示波器风格的按钮将如您所愿地精确地控制位置、刻度和亮度，等等。*



► *图61. 通过提供清楚的屏幕按钮，触摸显示屏可自然地解决凌乱的内容。*



► *图62. 轻松自信地使用图形控制窗口完成最复杂的功能。*



► *图63. 许多示波器的便携性使得仪器可以在多种操作环境中发挥效用。*

易用性

示波器应易学易用，协助用户高效地完成工作。正如没有标准的汽车司机一样，也没有标准的示波器操作员。传统的仪器用户，与在Windows和因特网时代中成长起来的用户共同存在。广泛地满足不同的用户的需要的关键，在于操作方式的灵活性。

许多示波器通过为用户提供仪器的多种操作方式，结合了高性能和简单易用性。前面板的布局提供了专用的垂直、水平和触发控制按钮。多图标的图形用户界面帮助读者理解和直观地使用高级性能。触摸屏可以提供清楚的屏幕按钮，解决了各种凌乱的问题。在线帮助提供便利的内置参考手册。利用直观的控制按钮，可以让临时的示波器用户就像驾驶汽车一样，轻松自如地操纵示波器，而专职的用户则可以使用示波器的高级性能。而且，许多便携式示波器，能够在多种不同的操作环境中（如在实验室或在现场）都高效率地工作。

探头

探头是测量系统的关键性组成部分，它可以确保信号的完整性，使读者可以利用示波器所有的能力和性能。更详细的信息，请参考示波器系统和控制中的完整的测量系统部分，或者是泰克的《探头 ABC》。

示波器的操作

配置

本部分简要的描述了如何逐一地配置并开始使用示波器。包括如何将示波器接地，如何将控制按钮调整到标准位置和如何校正探头。

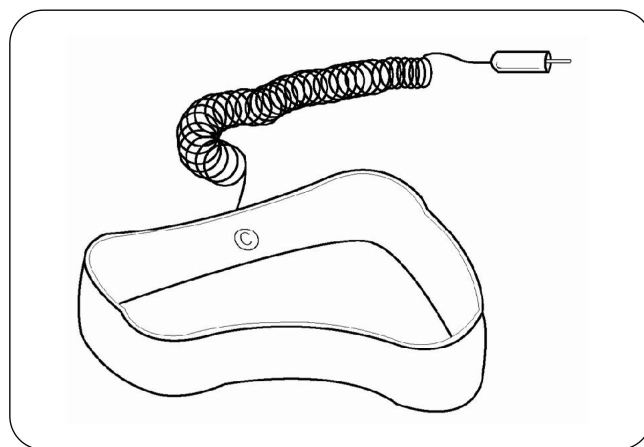
正确的接地是对电路进行实际操作前的重要步骤。正确的接地可以保护操作者不受电击，电路不受损害。

将示波器接地

将示波器接地就是将它连接到一个不带电的参考点上，如地球地面(earth ground)。通过把三脚插头的电源线插入接地的电源插座，而将示波器接地。

将示波器接地是为了安全。如果高电压接触到了示波器的外壳－外壳的任一部分，包括看似绝缘的按钮，示波器的用户就会遭到电击。然而，如果示波器正确接地,电流将会通过接地的路线而不是通过其用户流入地球地面。示波器是否接地还会影响到其测量的准确性。示波器必须和待测电路共地。

一些示波器不要求单独接地。这些示波器的绝缘的外壳和按钮可以防止用户遭到电击。



► *图64. 典型的腕型接地皮带*

将自己接地

如果您在对集成电路进行操作,也需要将自己接地。集成电路中的微小的导电通路会被人体的静电损坏。当您走过一块地毯,或是脱下一件外套,然后又去接触了集成电路的引线,一块昂贵的集成电路就这样轻易地被您毁坏了。可以通过佩戴接地的皮带来解决这个问题，如图64所示。这个皮带可以安全地将您身体内的静电送入地球地面。

设置控制方式

接通示波器电源之后，再来看一下前面板。如前所述，前面板可以划分为三个主要部分，分别标定为垂直，水平和触发器部分。取决于不同的样式和类型－模拟的或数字的，示波器可能还会有其他的部分。

示波器上的输入连接器是用来连接探头的。大多数示波器有两路输入，并且每一路都能在显示屏上显示一个波形。多路有助于不同波形之间的比较。

一些示波器具有 AUTOSET 和 / 或 DEFAULT 按钮，仅通过一次调整操作就可以使其适应信号。反之，如果示波器没有此项功能，则需要在具体操作之前把控制按钮调整到标准位置。

将示波器设置到标准位置的通用指令如下：

► 设置示波器显示通道 1 信号

► 将垂直电压 / 格表读和位置控制按钮调整到中值位置

► 关掉可变的伏特 / 格

► 关掉所有的放大倍数设置

► 将通道 1 输入耦合设置为直流（DC）

► 设置触发模式为自动（AUTO）

► 将触发源设置为通道 1

► 将触发延迟减至最小或将其关掉

► 如果可以的话，将亮度控制按钮设置为标称值

► 如果可以的话，调整聚焦控制按钮直到锐利显示

► 将水平时间 / 格和位置控制按钮调整到中值

有关指令部分的详细内容请参考示波器的附带手册。本入门书的示波器系统和控制部分更加详细地描述了示波器的控制按钮。

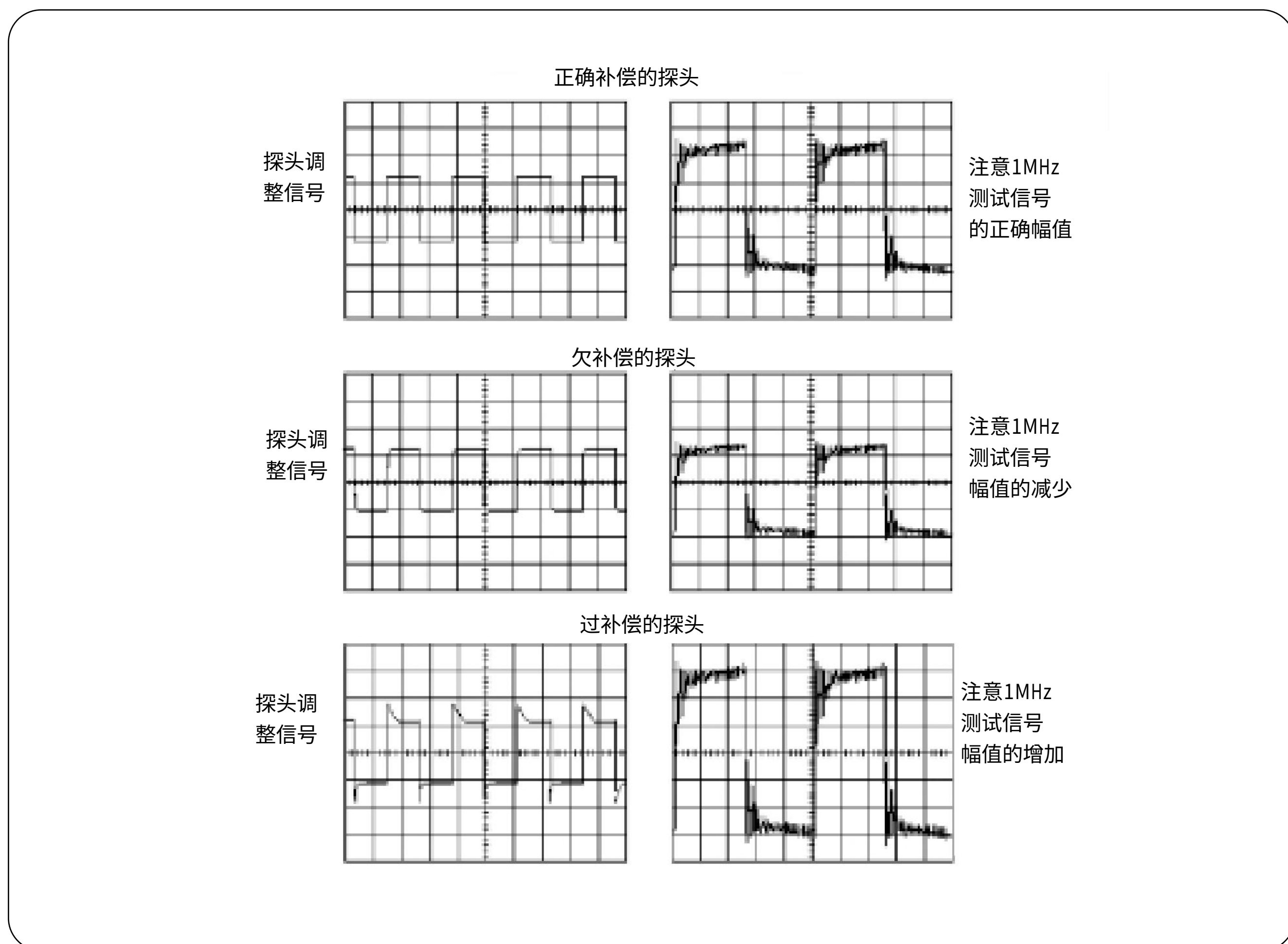
使用探头

现在，您可以将探头连接到示波器上了。使用与示波器有着较好匹配的探头，可以使您充分发挥示波器所有的能力和性能，并能确保所测信号的完整性。

请参考示波器系统和控制中的完整测量系统部分或者是《泰克探头 ABC》一书。

连接地线夹子

测量一个信号需要两种连接：探头的触头连接和接地连接。探头附带的颚口工具－夹子将探头接到待测电路的接地点。实际操作中，将接地夹接到电路中已知的接地点，如所修理的立体声装置的金属机壳上，并将探头的触头接到电路中的测试点上。



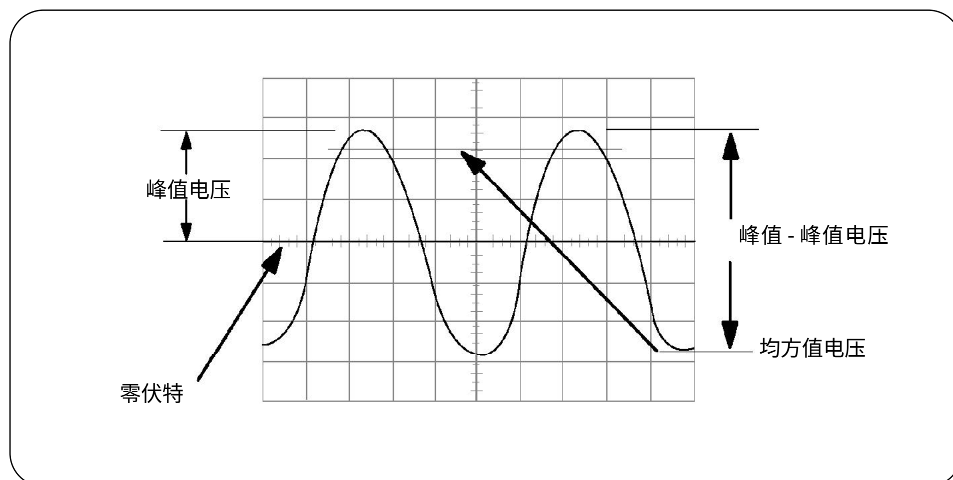
► *图65. 校正不当的探头对测试信号的影响*

校正探头

必须据示波器对无源衰减探头进行校正。在使用一个无源探头之前，必须对其进行校正——使其电气特性与特定的示波器相平衡。应该养成每次开启示波器时校正探头的习惯。一个没有调好的探头会使测量结果不那么精确。图65举例说明了使用校正不当的探头对一个1兆测试信号的影响。

大多数示波器在面板上有一个用来校正探头的方波参考信号。校正探头的通用方法如下：

- 将探头连接上一个垂直通道
- 将探头尖端与与探头校正信号相连，也就是方波参考信号
- 将地线夹子接地
- 观察方波参考信号
- 对探头进行适当的调整，使方波的角成直角



► *图66. 峰值电压(Vp)和峰值 - 峰值电压(Vp - p)*

当校正探头时，通常会将您要用到的任何一个附属尖端都连接上，并将探头接在您打算用的那个垂直通道上。这样能保证在测量时示波器有与校正时相同的电气特性。

示波器测量技术

这一节回顾一下基本的测量技术。可以做的两个最基本的测量就是电压和时间测量。正好差不多任一其他的测量都是以这两个基本技术中的一个为基础。

这一节讨论通过示波器荧屏进行直观测量的方法。这是用于模拟仪器的一个通用技术，同时对 DSO 和 DPO 显示的 " 马上 " (at a glance) 判读也有用。

注意，大多数数字示波器包含有自动测量工具。知道如何按这里所描述的方法进行手工测量会帮助您理解以及检查DSO和DPO的自动测量。自动测量将在这一节的后面部分加以说明。

电压测量

电压是电路中两点间电势的数量，以伏特表示。通常其中一点为地 (零伏特)，但并不总是如此。电压也可是峰—峰，即从一个信号的最大值点到其最小值点，进行测量。应该注意指出您想要的是哪种电压。

示波器首先是一个电压测量设备。一旦测出了电压，其他量就可通过计算获得。例如，欧姆定律表明电路中两点间电压等于电流和电阻的乘积。得知这些量中的任意两个后，就可以按下列公式计算出第三个量：

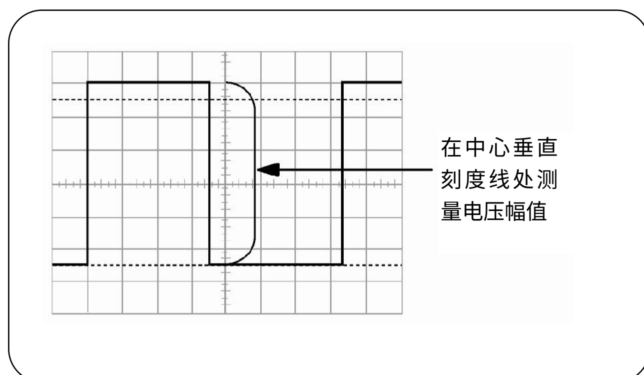
电压 = 电流 * 电阻

电流 = 电压 / 电阻

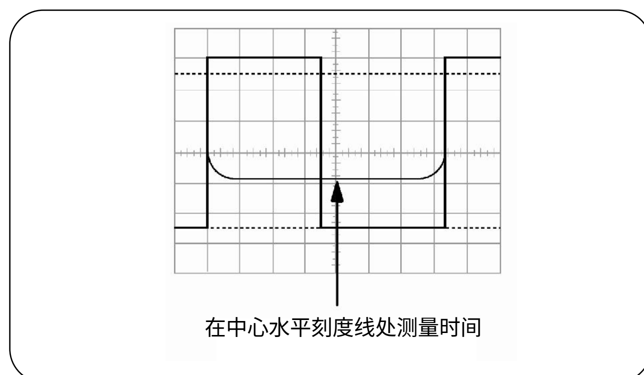
电阻 = 电压 / 电流

功率定律：功率 = 电压 * 电流

另一个方便的公式就是功率定律：一个直流信号的功率等于电压乘以电流。对交流信号而言，计算则相对复杂些，不过这里的要点是电压的测量为计算其他量的第一步。图66 表明了峰值电压 (Vp) 和峰 - 峰值电压 (Vp-p)。



► *图67. 在中心垂直刻度线处测量电压*



► *图68. 在中心水平刻度线处测量时间*

电压测量的最基本方法是计算在示波器垂直刻度上波形跨距的分割数目。调整信号使其在垂直方向上覆盖大部分屏幕，会得到最佳电压测量（参照图 67）。所使用的屏幕区域越大，从屏幕上所读的值就越精确。

大多数示波器都有在屏幕上的游标，它可以让您在屏幕上自动进行波形测量，而不用必须数刻度标识。一个光标就是一条您可以在屏幕上移动的线。两条水平光标线可以被上下移动来括出波形幅值以用于电压测量，同样，两条垂直线可以左右移动以用于时间测量。在它们位置上的读数指示出电压或者时间。

时间和频率测量

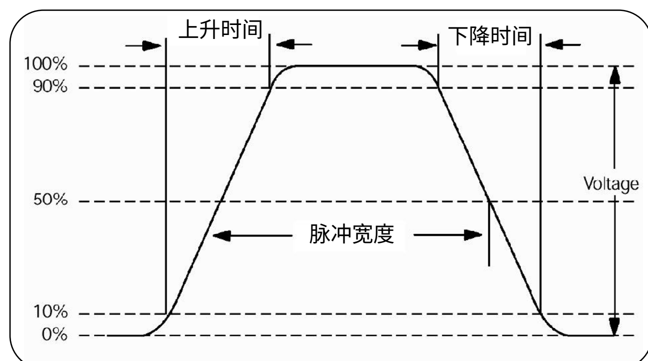
可以用示波器的水平刻度进行时间的测量。时间测量包括测量周期和脉冲群中的脉冲宽度。频率是周期的倒数，所以一旦得知了周期后，用周期除 1 就得到频率。与电压测量相似，当您调整待测信号部分使其覆盖屏幕的大量区域时，时间测量会更精确，如图 68 所示。

脉冲宽度和上升时间测量

在许多应用中，脉冲形状的细节很重要。脉冲有可能畸变，并由此导致一个数字电路的误动作，而脉冲串中的脉冲同步通常也很重要。

标准脉冲测量是脉冲宽度和上升时间。上升时间是一个脉冲从低电压到高电压所占时间的数量。按照惯例，从脉冲全电压的10%处到 90%处来测量上升时间。这就消除了脉冲转角的不规则性。脉冲宽度是一个脉冲从低电压到高电压再到低电平所占时间的数量。按照惯例，在脉冲全电压的 50%处来测量脉冲宽度。图 69（见下页）说明了这些测试点。

脉冲测量通常要求精调触发。要成为一个捕获脉冲的专家，您必须学会怎样使用触发保持，以及怎样设置数字示波器去捕获预触发数据，就象在系统和示波器的控制那一节中描述的那样。水平放大则是另外一个用于测量脉冲的有用的特征，因为它可以让您查看一个快速脉冲的精确细节。



► *图69. 上升时间和脉冲宽度测量点*

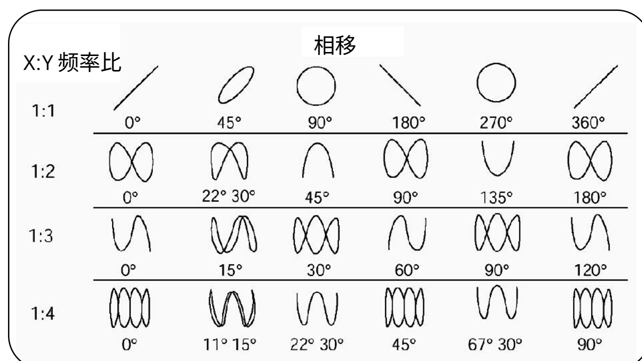


图70. 李萨如模式

相移测量

一种测量相移的办法就是使用X Y模式,相移即两个不同的周期性信号间定时的差异。这个测量技术包括照常将一个信号输入到水平系统,然后将另一个信号输入到垂直系统——将其称之为X Y测量,是因为X轴和Y轴都跟踪电压。由这种方案产生的模式被称为李萨如模式(以法国物理学家 Jules Antonine Lissajous 命名，发音为LEE-za-zhoo)。从李萨如模式的形状可以分辨两个信号间的相位差异,而且还可以分辨它们的频率比率。图 70 显示了适用于不同的频率比和相移的李萨如模式。

XY 测量技术起源于模拟示波器。在产生实时 XY 显示时，DSO 可能有困难。一些 DSO 通过累计超时触发数据点来产生一个 XY 图象，然后显示两个通道作为一个 XY 显示。

另一方面，利用数字化数据的一个连续流，DPO 能够实时获得并显示一个真实的 XY 图象。DPO 还可以显示增强区的 XYZ 图象。与DSO 和 DPO 的 XY 显示不同，这些模拟示波器上的显示典型地受限于几兆带宽。

其他测量技术

这一节包含了基本的测量技术。其他的测量技术包括：设置示波器用以测试装配线上的电气元件，捕获难以捕获的瞬时信号以及许多其他技术。所要用的测量技术取决于您的应用,不过现在您所学的对于开始操作而言已经足够多了。练习使用您的示波器,并阅读更多的关于示波器的资料。很快您就会很熟悉它的那些操作了。

词汇表

捕获模式Acquisition Mode: 控制如何从采样点产生波形点的模式。类型包括采样、峰值检测、高分辨率、包络和均值。

交替模式 Alternate Mode: 一种操作的显示模式。在这种模式下，示波器完成跟踪一个通道后才开始跟踪另一个通道。

交流 Alternating Current（AC）: 电流和电压随着时间按照一种重复的图形变化。也用于表示信号的耦合类型。

放大 Amplification: 信号从一点传输到另一点过程中幅度的增加。

幅度 Amplitude: 电子学中信号量级或强度的模。

模数转换器Analog-to-Digital Converter (ADC): 把电信号转化为离散二进制值的数字电子元件。

模拟示波器 Analog Oscilloscope: 一种显示波形的设备，它把（一定条件下和经放大的）输入信号加到电子束的垂直轴上，而电子束从左到右水平地扫过阴极射线管 (CRT) 屏幕。在电子束击中的地方，涂在 CRT 上的荧光粉产生发光的痕迹。

模拟信号 Analog Signal: 电压连续变化的信号。

衰减 Attenuation: 信号从一点传输到另一点过程中振幅的减少。

取均值Averaging: 数字示波器在显示信号时用于减少噪声的一种处理技术。

带宽 Bandwidth: 一个频率范围，一般限制在－3dB。

阴极射线管 Cathode-ray Tube（CRT）: 一种电子束管，管中电子束能集中于发光的屏幕且改变位置和强度，从而产生可视的图案。电视机的图像管就是 CRT。

间隔模式 Chop Mode: 一种操作的显示模式。这种模式循序跟踪每个通道的小时间片，从而可以在屏幕上同时显示一个以上的波形。

电路加载Circuit Loading: 被测电路与探头和示波器之间无意的交感，这种交感会干扰信号。

校正（补偿）Compensation: 无源衰减探头用于平衡探头电容与示波器电容的一种探头的调节。

耦合 Coupling: 把两个电路连接在一起的方法。用电线连接电路是直接耦合(DC)；用电容或者变压器连接电路是非直接耦合(AC)。

光标 Cursor: 一种屏幕上的标记，您可以用来对齐波形，以使测量更精确。

延时时基 Delayed Time Base: 一种扫描时基，这种扫描可以相对于主时基扫描的预定义时间开始或被触发开始。这允许您更清晰的观测事件和观测那些在主时基扫描中不能单独显现的事件。

数字信号 Digital Signal: 用离散的二进制数表示电压样本的信号。

数字示波器 Digital Oscilloscope: 使用模数转换器 (ADC) 把测量的电压转换为数字信息的示波器。分为三种类型：数字存储、数字荧光和数字采样示波器。

数字荧光示波器 Digital Phosphor Oscilloscope（DPO）: 一种数字示波器，它模仿模拟示波器的显示特性，同时又具有传统数字示波器的优点（波形存储、自动测量等等）。DPO 使用并行处理结构把信号传递给光栅型显示器，这提供了在实时环境下信号特征的分级亮度视图。DPO 在三维空间显示信号：幅度，时间和振幅随时间的分布。

数字采样示波器 Digital Sampling Oscilloscope: 一种数字示波器，它使用等效时间采样技术捕获和显示信号的样本，适合于精确地捕获频率分量比示波器采样速率高得多的信号。

数字存储示波器Digital Storage Oscilloscope (DSO): 一种数字示波器，它通过数字采样（使用模数转换器）获取信号。它使用串行处理结构控制获取，用户界面和光栅显示。

数字化Digitize: 水平系统中的模数转换器在离散的时间点上对信号进行采样，并把这些点上的信号电压转换为被称作采样点的数字值的过程。

直流 Direct Current (DC): 具有恒定电压和/或电流的信号。也用于表示信号的耦合类型。

刻度 (格) Division: 示波器阴极射线管刻度板上的测量标记。

接地 Earth Ground: 把电流连接到大地上的导线。

有效比特 Effective Bits: 数字示波器精确重建正弦信号波形的能力的量度。这个测量值用于与理论上理想的数字转换器比较示波器的实际错误。

包络Envelope: 从许多重复显示的波形中得到的信号最高和最低点的轮廓。

等效时间采样 Equivalent-time Sampling: 一种采样模式。在这种模式下示波器通过从每次的重复中获取一些信息来生成一个重复信号的图像。等效时间采样有两种类型：随机和串行。

聚焦Focus: 示波器用于调整阴极射线管(CRT)电子束来控制显示清晰度的控制钮。

频率 Frequency: 1秒内信号重复的次数，以Hertz为单位（周期每秒）。频率等于 1/ 周期。

频率响应 Frequency Response: 待定义。

增益精度 Gain Accuracy: 指示垂直系统以何种精度衰减或放大信号，一般用错误的百分比表示。

千兆赫 Gigahertz (GHz): 1 000 000 000 赫兹；频率单位。

假信号 Glitch: 电路中间歇的高速错误。

刻度板 Graticule: 屏幕上用于测量示波器轨迹的栅格线。

地 Ground:

1. 一个电路或设备用于连接到大地以建立和保持一个参考电平的导线连接。
2. 电路中的电压参考点。

赫兹 Hertz (Hz): 每秒一个循环；频率的单位。

水平精度 (时基) Horizontal Accuracy (Time Base): 指示水平系统以何种精度显示信号的时限，一般用错误百分比表示。

水平扫描 Horizontal Sweep: 水平系统描绘波形的动作。

亮度等级 Intensity Grading: 发生的频率信息，对理解波形真正做什么很重要。

插值法 Interpolation: 一种 " 连接点 " 的处理技术，用于在只有一些采样点的基础上评估一个快速的波形看起来象什么。有两种类型：线性和 sinx/x。

千赫 Kilohertz (kHz): 1000 赫兹；频率的单位。

加载 Loading: 被测电路与探头和示波器之间无意的相互作用，这种作用会干扰信号。

逻辑分析仪Logic Analyzer: 用于使许多随着时间变化的数字信号的逻辑状态可视化的设备。它分析数字数据并能以实时软件运行，数据流值，状态序列等等的方式表现数据。

兆赫 Megahertz (MHz): 1 000 000 赫兹；频率的单位。

每秒兆样本 Megasamples per second (MS/s): 一种采样速率单位，等于每秒一百万个样本。

微秒 Microsecond(μs): 一种时间单位，等于 0.000001 秒。

毫秒 Millisecond (ms): 一种时间单位，等于 0.001 秒。

纳秒 Nanosecond (ns): 一种时间单位，等于 0.000000001 秒。

噪声 Noise: 电路中有害的电压或电流。

示波器Oscilloscope: 一种用于令随着时间变化的电压可见的设备。示波器一词来自于" 振荡oscillate ", 因为示波器经常用来测量振荡的电压。

峰值 Peak (Vp): 从零参考点测量的最大电平。

峰值检测 Peak Detection: 一种数字示波器有效的捕获模式。这种模式使您能观测到也许别的模式会丢失的信号细节。它在察看时间上距离很远的窄脉冲时特别有用。

峰值 - 峰值 Peak-to-peak (Vp-p): 从信号的最大点到最小点的测量电压。

周期 Period: 波完成一次循环所需要的时间。周期等于 1/ 频率。

相位 Phase: 从一次循环的开始到下一次循环的开始经过的时间，单位为度。

相位移动 Phase Shift: 两个相似信号在时间上的差别。

预触发视图Pre-trigger Viewing: 数字示波器获取在触发事件前信号情况的能力。决定触发点前面和后面可观察信号的长度。

探头 Probe: 一种示波器输入设备，一般有一个突出的与电路元件接触的金属触点，一根连接到电路参考地的导线，和一条把信号和地传入示波器的可弯曲的电缆。

脉冲Pulse: 一种具有一个很陡的上升沿，一定的宽度和一个很陡的下降沿的常见的波形。

脉冲串 Pulse Train: 一起传输的脉冲的集合。

脉冲宽度 Pulse Width: 脉冲从低到高再到低的时间量，按照惯例在全电压的 50% 测量。

斜面 Ramps: 以恒定速率改变的正弦波电平的过渡过程。

光栅 Raster: 一种显示器的类型。

实时采样 Real-time Sampling: 一种采样模式。在这种模式下，示波器尽可能多的从一个触发的获取中搜集样本。适合于测量频率范围小于示波器最大采样率的一半的信号。

记录长度 Record Length: 用于生成一个信号记录的波形点数。

上升时间 Rising Time: 脉冲前沿从低值上升到高值所需的时间，典型地从 10% 到 90% 测量。

采样 Sampling: 为了在示波器中存储，处理和/或显示，一部分输入信号转换为许多离散值的过程。有两种类型：实时采样和等效时间采样。

采样点 Sample Point: 从模数转换器中得到的用于计算波形点的原始数据。

采样速率 Sample Rate: 指数字示波器对信号取一个样本的频率，单位为样本每秒 samples per second (S/s)。

屏幕 Screen: 显示器的表面，可视的图形在其上面生成——显示区域。

信号完整性 Signal Integrity: 信号的精确重建，由系统和示波器性能的考虑，加上用来获取信号的探头决定。

信号源 Signal Source: 用于把信号注入电路输入的测试设备；而后示波器读取电路的输出。也被称为信号发生器。

正弦波 Sine Wave: 一种数学定义的常见曲线波。

单脉冲 Single Shot: 示波器测量的只出现一次的信号（也被称为瞬时事件）。

单扫描 Single Sweep: 一种触发模式。这种模式显示信号的一个触发屏而后停止。

斜率 Slope: 在曲线图或示波器屏幕上，垂直距离与水平距离的比率。正斜率从左到右逐渐增大，而负斜率从左到右逐渐减少。

方波 Square Wave: 包括重复正方形脉冲的常见波形。

扫描 Sweep: 示波器电子束从左到右水平的扫过 CRT 屏幕。

扫描速度 Sweep Speed: 与时基相同。

时基 Time Base: 控制扫描定时的示波器电路。时基由秒/格控制器设置。

迹线 (轨迹) Trace: 由于电子束的运动而显示到 CRT 上的可视形状。

传感器 Transducer: 把一种指定的物理量如声音、压力、张力或光强转化为电信号的设备。

瞬态 Transient: 由示波器测量的只出现一次的信号(也被称为单脉冲事件)。

触发器 Trigger: 示波器中涉及水平扫描电路。

触发截止 Trigger Holdoff: 允许您修改示波器在一次有效触发后不能再次触发的时间段。

触发电平 Trigger Level: 触发源信号在触发电路启动扫描前必须达到的电平。

触发模式 Trigger Mode: 决定在未检测到触发事件时示波器是否画波形的模式。常见触发模式包括正常和自动。

触发斜率 Trigger Slope: 在触发电路启动扫描前触发信号源必须达到的斜率。

垂直分辨力 (模数转换器) Vertical Resolution (Analog-to-Digital Converter): 指示数字示波器中的模数转换器(ADC)能够多精确地把输入电压转化为数字值，以比特为单位。计算技术，比如高存储获取模式，可以提高有效分辨力。

垂直灵敏度 Vertical Sensitivity: 指示垂直放大器可以把一个微弱的信号放大多少——通常以毫伏/刻度为单位。

伏特 Volt: 电势差单位。

电压 Voltage: 两点之间的电势差，单位为伏特。

波 Wave: 随着时间重复的图形的一般术语。常见的类型包括：正弦波、方波、矩形波、锯齿波、三角波、梯形波、脉冲、周期波、非周期、同步信号、异步信号。

波形 Waveform: 电压随着时间改变的图示表达。

波形获取速率 Waveform Capture Rate: 指示波器获取波形的快慢程度，单位为波形每秒(wfms/s)。

波形点 Waveform Point: 代表信号在时间上特定点的电压的数字值。波形点从采样点中计算并存储在内存中。

写速度Writing Speed: 模拟示波器提供对信号从一点到另一点运动的可视化跟踪的能力。这种能力对具有高速运动细节的低重复信号有限制，比如数字逻辑信号。

Z 轴 Z Axis: 示波器上随着轨迹成型而显示亮度变化的显示属性。

泰克电子(中国)有限公司
北京市海淀区花园路4号
通恒大厦1楼101室
邮编：100088
电话：(86 10) 6235 1210/1230
(86 10) 6235 1186
传真：(86 10) 6235 1236

泰克上海办事处
上海市静安区延安中路841号
东方海外大厦18楼
邮编：200040
电话：(86 21) 6289 6908
传真：(86 21) 6289 7267

泰克广州办事处
广东省广州市环市东路403号
广州国际电子大厦2107室
邮编: 510095
电话：(86 20) 8732 2008
传真：(86 20) 8732 2108

泰克深圳办事处
深圳市深南东路5002号
信兴广场地王商业中心43楼02室
邮编：518008
电话：(07 55) 8246 3087
传真：(07 55) 8246 1539

泰克成都办事处
四川省成都市一环路
南二段磨子桥天歌大厦411/413室
邮编：610041
电话：(86 28) 8544 6770
(86 28) 8545 6759
传真：(86 28) 8543 4631

泰克西安办事处
西安市东大街西安凯悦(阿房宫)
饭店322室
邮编：710001
电话：(86 29) 723 1234 - 8345
(86 29) 723 1794
传真：(86 29) 721 8549

泰克武汉办事处
武汉市武昌区民主路788号
白玫瑰大酒店924室
邮编：430071
电话：(86 27) 8781 2831
(86 27) 8789 3366-1924
(86 27) 8731 8969
传真：(86 27) 8730 5230

泰克香港办事处
香港铜锣湾希慎道33号
利园花园3501室
电话：(852) 2585 6688
传真：(852) 2598 6260






 05/01 HB/PG 03W-8605-2

Tektronix®
Enabling Innovation